28 E 2.

This work must be consulted
in the Boston Medical Library
8 Fenway

No. 3805.159

GIVEN BY

Dr. B. Joy Jeffries.

Digitized by the Internet Archive
in 2012 with funding from
Open Knowledge Commons and Harvard Medical School

http://www.archive.org/details/einneuesophthalm00ruet

Dr B. Joy Jeffries. -78-
P 11

EIN

NEUES OPHTHALMOTROP.

ZUR ERLÄUTERUNG

DER

FUNCTIONEN DER MUSKELN UND BRECHENDEN MEDIEN

DES

MENSCHLICHEN AUGES

VON

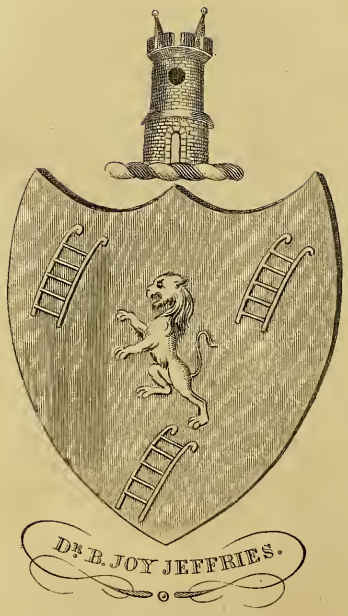
DR. C. G. THEODOR RUETE.

3805.15.9

MIT EINER KUPFERTAFEL.

18/58

LEIPZIG,
DRUCK UND VERLAG VON B. G. TEUBNER.
1857.


Dr. B. JOY JEFFRIES.

EIN

NEUES OPHTHALMOTROP.

ZUR ERLÄUTERUNG

DER

FUNCTIONEN DER MUSKELN UND BRECHENDEN MEDIEN

DES

MENSCHLICHEN AUGES

VON

Dr. C. G. THEODOR RUETE.

3805.159

MIT EINER KUPFERTAFEL.

LEIPZIG,

DRUCK UND VERLAG VON B. G. TEUBNER.

1857.

DR. B. JOY JEFFRIES.
JAN. 9, 1899

PUBLIC LIBRARY
OF THE
CITY OF BOSTON

Inhaltsverzeichniss.

Seite

Geschichtliches 1
Messungen der Ursprünge und Ansätze der Muskeln 4
Bestimmung der Coordinaten, der Ansätze, Ursprünge und Winkel der Muskeln 7
Beschreibung des Ophthalmotrops 10
Fig. 1. Grundriss des ganzen Instruments 10
Fig. 2. Eine perspectivische Zeichnung des ganzen Instrumentes, angefertigt von Herrn Breiter, Cand. der Medicin 14
Fig. 3. Der optische Theil der künstlichen Augen . 14
Bedenken gegen das Ophthalmotrop und Bezeichnung der Grenzen der Wirkung desselben 16
Methode der Beobachtung mit dem Ophthalmotrop 20
Formel zur Berechnung der Augenbewegungen . . . 25
Betrachtungen über Bewegung der Augen und über deren Drehungsaxen im Allgemeinen 33
Beobachtungen mit dem Ophthalmotrop, betreffend die Function der Augenmuskeln 45
Bestimmung des Antheiles der einzelnen Augenmuskeln am Schielen 50
Optische Erscheinungen, die durch das Ophthalmotrop erläutert werden 55
1) Einfachsehen mit beiden Augen 55
2) Aufrechtsehen und Scheiner'scher Versuch . . . 57
3) Doppel- und Vielfachsehen mit einem Auge . . . 62
4) Sehwinkel 65
5) Einige Erscheinungen bei der Kurzsichtigkeit . . 66

Seite

6) Zerstreuungskreise 67
7) Nutzen der Linsen- und Prismengläser als Brillen . 69
8) Purkinje-Sanson'sches Experiment 76
9) Bestimmung des Sitzes von Verdunkelungen im Auge, bei der Untersuchung mit dem Augenspiegel . . . 77
10) Mouches volantes, Mückensehen 79
11) Einfluss der Trübungen und Verdunkelungen der Hornhaut und der Linse auf das Sehen 85
a) Undurchsichtige Flecken der Hornhaut . . 85
b) Transparente Flecken der Hornhaut . . . 90
12) Stenopäische Brillen 92
13) Diaphragmen 94

Kupfertafel.

Ein neues Ophthalmotrop.

Geschichtliches.

Als im Jahre 1845 der erste Band der Göttinger Studien erschien, benutzte ich die Gelegenheit, das von mir ausgedachte Instrument, welches ich mit dem Namen Ophthalmotrop belegt hatte, bekannt zu machen. Dasselbe besteht aus zwei neben einander in entsprechender Entfernung aufgestellten künstlichen Augen, von denen ein jedes in drei so in einander greifenden Ringen befestigt ist, dass die drei Drehungsaxen, welche den drei Muskelpaaren angehören, sich in der Primärstellung des Auges, d. h. in der Stellung, wo die Sehaxe rechtwinkelig zur Gesichtsfläche steht, in denselben Winkeln, wie im natürlichen Auge, schneiden. Es sollte dazu dienen, die Funktionen der Muskeln und auch viele optische Erscheinungen deutlich zu demonstriren und um der Phantasie und dem Gedächtnisse bei der Auffassung dieser schwer zu durchschauenden Verhältnisse zu Hülfe zu kommen.

In der Schrift, die ich den Göttinger Studien einverleibte, die aber auch einzeln unter dem Titel „das Ophthalmotrop, dessen Bau und Gebrauch, Göttingen 1845“

bei Vandenhoeck und Ruprecht zu haben ist, habe ich den Bau des Instrumentes genau beschrieben und abgebildet und gezeigt, wie es für die physiologische Optik und für die Demonstration der Muskelfunctionen zu verwerthen ist. In ersterer Beziehung bleibt sein Werth auch jetzt noch unbestritten, in letzterer aber hat es mehrere Mängel und Fehler. Die drei, durch die Lage der Muskeln bedingten Drehungsaxen, um die sich das natürliche Auge dreht, müssen nämlich, sowohl im Raume als im Auge beweglich sein, damit sie sich in allen möglichen Verhältnissen mit einander combiniren können, denn nur dadurch wird eine allseitige Bewegung eines jeden Auges und eine harmonische Stellung beider Augen möglich. In dem genannten Ophthalmotrop behält aber eine der drei Drehungsaxen, nämlich die für die schiefen Augenmuskeln, ihre Lage in dem Modell des Augapfels unverändert bei. Dies ist, wie A. Fick und vor ihm schon Brücke ganz richtig bemerkt haben, ein Fehler; denn die Axe, um welche einer der Mm. Obliqui den Bulbus dreht, wird nur dann die im Ophthalmotrop angegebene sein, wenn das Auge sich in der Anfangsstellung befindet, und nur einer der Obliqui als thätig gedacht wird, während in jeder anderen Lage (wenigstens wenn nicht die Lagenveränderung in einer Drehung um die Axe der Obliqui selbst bestand) die Axe, um welche nunmehr sich einer der Obliqui dreht, eine ganz andere Lage im Augapfel haben wird. Im Ophthalmotrop behält ausserdem die Axe für die Mm. rectus superior und inferior ihre Lage im absoluten Raume bei, was nicht der Fall am wirklichen Auge ist. Fick macht auch mit Recht darauf aufmerksam, dass jedenfalls nicht im Allgemeinen — für jede beliebige Lage — ein sogenanntes Antagonisten-

paar am Auge um dieselbe Linie als Axe nur beide im entgegengesetzten Sinne drehen, was bei der Anwendung des Ophthalmotrops unterstellt wird. Wegen dieser Fehler und Mängel lässt sich daher an dem genannten Instrument der relative Antheil, welchen die verschiedenen Augenmuskeln an irgend einer vorgegebenen Drehung in einer beliebigen Lage des Augapfels nehmen, nur unvollkommen übersehen.

Nichts destoweniger hat das Instrument, weil es in der That doch manches klar macht, Beifall und eine grosse Verbreitung gefunden, denn es muss namentlich den Lehrern der Physiologie und Augenheilkunde von Wichtigkeit sein, ein Mittel zu besitzen, den Zuhörern die Bewegungen des Auges, abgesehen von geometrischen Constructionen und Berechnungen, zu demonstriren.

Ich habe deshalb darüber nachgedacht, ob es nicht möglich sei, ein Instrument zu erfinden, welches, frei von jenen Fehlern, nicht blos im Stande sei, uns im Allgemeinen die Bewegungen der menschlichen Augen zu versinnlichen, sondern auch gestatte, genaue Messungen über die Verkürzung und Verlängerung der einzelnen Muskeln bei den verschiedenen Bewegungen und Lagen der Augen anzustellen.

Dies ist mir denn auch mit Hülfe des Herrn Stöhrer, eines ausgezeichneten Mechanikers in Leipzig, wie ich glaube vollständig gelungen.

Zuerst wurde nach ungefähren Bestimmungen ein Modell entworfen, um zu sehen, ob die Aufgabe zu lösen sei, und als dieses Modell sich überraschend gut herausstellte, machte ich mich, um ein brauchbares Schema zu gewinnen, mit Herrn Breyter, einem tüchtigen mathematisch gebildeten Mediciner, und Herrn Dr. Theodor

Weber daran, genaue Messungen über Lage, Länge, Ursprung und Insertion der Augenmuskeln zu machen. Die Herren Professoren Weber stellten uns zu dem Ende nach und nach vier ganz frische Köpfe von männlichen Selbstmördern zur Disposition, an denen wir nach verschiedenen Methoden unsere Untersuchungen unternahmen.

Messungen der Ursprünge und Ansätze der Augenmuskeln.

Nachdem die Schädeldecke nahe über der Orbita abgesägt war, wurde der Kopf so aufgestellt, dass er, so weit es das Augenmaass gestattete, genau die Stellung hatte, die er im Leben bei aufrechter Stellung zu haben pflegt. Darauf wurde ein Sägenschnitt in der Mitte zwischen beiden Augenhöhlen perpendiculär durch das Os frontis, durch die Mitte der Crysta galli, der Sella torcica und den Rücken der Nase so tief heruntergeführt, dass wir einen geraden, vorn überstehenden Draht so einlegen konnten, dass er eine Lage hatte, die mit den gerade nach vorn und horizontal gelegten Sehaxen parallel stand, um eine Linie zu haben, nach der wir uns richten konnten. Darauf wurden beide Augen bis zur normalen Spannung aufgeblasen, dann horizontal parallel gerichtet und durch jedes Auge ein feiner, sehr zugespitzter Stahldraht in der Richtung der optischen Axe bis hinten in den Knochen der Orbita langsam rotirend durchgestossen, um die Augen in ihrer Lage zu fixiren und um an den Sehaxen messen zu können. Da nun aber alles darauf ankommt, dass das Auge durchaus in seiner normalen Lage bleibt, weil durch eine geringe Verschiebung nach vorn, die am leichtesten sich ereig-

net, oder nach hinten, oder durch eine Drehung um die optische Axe die Winkel, welche die Augenmuskeln mit der optischen Axe bilden, bedeutend modificirt werden, so gebrauchten wir bei den letzten zwei Untersuchungen noch die Vorsicht, dass wir, nachdem alles, wie oben angegeben ist, vorbereitet war, über die geschlossenen Augenlieder eine Decke von Gyps gossen, um so jede Verschiebung der Augen unmöglich zu machen.

Darauf wurden die Augenhöhlen vorsichtig von oben geöffnet und die Ursprünge und Insertionen der Muskeln sorgfältig frei präparirt, ohne von dem dazwischen liegenden Fett mehr wegzunehmen, als zur Darstellung der genannten Punkte nöthig war.

Die Winkel, welche die Muskeln mit der optischen Axe bilden, wurden dadurch gemessen, dass wir winkelig gebogene Drähte auflegten, um so jede Parallaxe zu vermeiden. Jede Messung wurde von uns dreien unabhängig gemacht, aber bei jeder Messung zeigten sich kleine Verschiedenheiten, weil die Bestimmung des Scheitelpunktes der ungefähren Schätzung überlassen bleiben musste. Ausserdem zeigten sich auch an den untersuchten Köpfen individuelle Verschiedenheiten, die man schon daraus abnehmen kann, dass der Abstand des Mittelpunktes beider Augen bei verschiedenen Menschen schwankt zwischen 62—70^{mm}.

Die Abstände der Ursprünge und Insertionen der Muskeln vom Mittelpunkte der Augen nach oben und unten, nach rechts und links, nach hinten und vorn, wurden mit dem Zirkel auch von jedem der drei Beobachter gemessen. Die Ursprünge sowohl als die Insertionen der Muskeln wurden dabei als Punkte angesehen und zwar die geometrischen Mittelpunkte derselben benutzt.

Auf diese Weise bekamen wir 24 Beobachtungen von jedem zu messenden Gegenstande. Aus diesen je 24 Beobachtungen wurden dann die Mittel genommen, aus denen die folgenden Tabellen hervorgegangen sind.

Sehr bedaure ich, dass das Ergebniss dieser Messungen mit dem früherer Beobachter, namentlich des Herrn A. Fick nicht besonders stimmt. Da aber Fick nur die Augen eines Kopfes gemessen und auch nicht eine so directe Methode benutzt hat, so wird man es mir nicht verdenken, dass ich auf die eignen Beobachtungen mehr Gewicht gelegt und danach das neue Ophthalmotrop construirt habe. Ich glaubte hierzu um so mehr berechtigt, da sich in der Fick'schen Tabelle offenbar mehrere Druckfehler befinden; so steht da z. B. beim Ursprunge des Obliq. inferior $y + 30$ und $z + 6$, was bei mir heissen muss $y - 6$ und $z - 15$.

Fick (Henle und Pfeufer, Zeitschrift 1854, p. 101—128) präparirte den Augapfel mit seinen Muskeln möglichst genau, nachdem die Augenhöhle von oben her geöffnet worden war (unter Erhaltung der Knochentheile, welche die Muskelursprünge enthalten), dann injicirte er denselben vom N. opticus aus und befestigte ihn vermittelst durchgestochener Drähte nach dem Augenmaass in der Lage, dass die Sehaxe gerade nach vorn gerichtet war. Dann wurden die Coordinaten der sechs Muskelursprünge und Ansätze, des Scheitels der Cornea und der Eintrittsstelle der Sehnerven dadurch bestimmt, dass die Entfernungen eines jeden dieser Punkte von drei festen Punkten gemessen und daraus die Coordinaten berechnet wurden. Die Ansätze und Ursprünge der Muskeln wurden also auch von ihm als Punkte angesehen und zwar die geometrischen Mittelpunkte derselben benutzt. Eine

Controle wurde dadurch erhalten, dass die beiden Augen desselben Präparates den Messungen unterworfen wurden, wobei sich dann zeigte, dass die Abweichungen der Coordinaten, von der vollständigen Symmetrie 1^{mm} selten um etwas überstiegen, im Allgemeinen sich doch sogar unter $0{,}5^{mm}$ hielten. Aus den vier für die Genauigkeit günstigsten Punkten wurden Radius und Coordinaten des Mittelpunktes berechnet, und dann durch Ziehung von Durchschnitten die übrigen Coordinaten ausgegliehen, unter Annahme, dass die Ansätze der vier Recti in einer Verticalebene und im Kreise von 90^0 von einander lägen, und wie bemerkt, mit einer Abrundung der Zahlen, wo dieselbe mit den geometrischen Bedingungen der Aufgabe verträglich war.

Diese Methode ist freilich an und für sich eine sehr genaue, nur kommt es darauf an, dass das Auge genau in seiner ursprünglichen Lage bleibt, was bei der Art, wie Fick präparirt hat, wahrscheinlich nicht der Fall gewesen ist.

Bestimmung der Coordinaten, der Ansätze, Ursprünge und Winkel der Muskeln.

Zum Verständniss des nachfolgenden Schema's ist es nöthig, in dem als Kugel gedachten, um den im Raume festen Mittelpunkt drehbaren Auge zwei rechtwinkelige Coordinatensysteme anzunehmen. Das eine derselben wird im Auge fest und mit demselben beweglich gedacht; sein Anfangspunkt ist der Mittelpunkt oder Drehpunkt; die Axe der x fällt mit dem horizontalen Querdurchmesser zusammen, die Axe der y mit der Sehaxe, die Axe der z mit dem verticalen Durchmesser, die Richtung des positiven x geht nach aussen, des positiven y nach hinten, des positiven z nach oben. Die xy-Ebene ist die durch

den Mittelpunkt des Auges als Ursprung der Coordinaten gelegte horizontale Ebene; die yz-Ebene geht durch denselben Punkt und ist der Median-Ebene des Körpers parallel. Es bezieht sich dies auf die Stellung der Sehaxen gerade nach vorn.

Das zweite im Auge gedachte Coordinatensystem wird im Raume fest angenommen, sein Anfangspunkt ist ebenfalls der Mittelpunkt, und seine Axen fallen mit den gleichnamigen Axen des im Auge festen Systems in der Anfangsstellung bei der Richtung der Sehaxen gerade nach vorn zusammen. Die drei Axen dieses im Raume festen Systems werden mit $x\ y\ z$ bezeichnet, die des mit dem Auge beweglichen Systemes mit x', y', z', oder auch mit dem Zusatz: beweglich.

Die Coordinaten-Ebenen des im Auge festen Systems sind auf den künstlichen Augen des Ophthalmotrops durch drei Kreise angegeben (Fig. II). Dieselben dienen auch hier dazu, sich über die Stellung der künstlichen Augen zu orientiren. Die Axen der Coordinaten-Ebenen sind auf dem Grundriss (Fig. I) mit $+x$ und $-x$, mit $+y$ und $-y$, und mit $+z$ bezeichnet.

	Ansätze.			Ursprünge.		
	x	y	z	x	y	z
Rect. superior	+ = 2,00	− 5,667	+10	− 10,67	+ 32	+ 4
„ inferior	+ = 2,20	− 5,767	−10	− 10,8	+ 32	− 4
„ externus	+ = 10,80	− 5 00	0	− 5,4	+ 32	0
„ internus	− = 9,90	6,00	0	− 14,67	+ 32	0
Tendo obliqui superioris	+ = 2,00	+ 3 00	+ 11	− 14,1	− 10	+ 12
Obliq. inferior	+ = 8,00	+ 6,00	0	− 8,1	− 6	− 15

Zu bemerken ist, dass die Längen alle in Millimetern ausgedrückt sind.

Werden nach den obigen Angaben die Winkel berechnet, welche die Muskeln mit der Vertical-Ebene (yz-Ebene) und mit der Horizontal-Ebene (xy-Ebene) des Auges machen, so ergeben sich folgende, mit den directen Messungen übereinstimmende Werthe:

	Winkel der Muskeln mit der Vertical-Ebene	Horizontal-Ebene
Rectus superior	19°	$14^2/_3$°
„ inferior	$19^1/_4$°	15°
„ externus	$31^1/_2$°	0
„ internus	35	0
Tendo obliqui superioris	$54^2/_3$°	0
Obliquus inferior	$49^2/_3$°	$20^1/_3$°

Auch die nachfolgenden Messungen sind nicht ohne Interesse:

Durchmesser des Auges	24
Durchmesser des Nervus opticus	4,3
Breite der Musculi recti im Durchschnitt	7,43
Breite des Obliquus inferior	9
Dicke der Musculi recti	4
Entfernung der Mitte beider Augen	64,8
Entfernung der parallelen inneren Wände beider Orbitae	26,9
Entfernung der Mitte des Auges von den bezeichneten Durchschnitts-Ursprüngen der geraden Muskeln	32.

Scheitel der Cornea (auf der Kugel gedacht) $x = o$; $y = -12$; $z = o$.

Eintrittsstelle der Sehnerven $x = -3{,}4$; $y = +11{,}5$; $z = o$.

Beschreibung des Ophthalmotrop's.

Nach Vorausschickung dieser Tabellen, die als Grundlage zur Construction des Ophthalmotrop's gedient haben, wird es jetzt an der Zeit sein, eine kurze Beschreibung des Instruments selbst zu geben.

Fig. 1. Grundriss des ganzen Instruments.

Auf einem hölzernen Kasten, der mit 3 Schrauben versehen ist, damit er horizontal gestellt werden kann, stehen zwei Säulen *aa'*. Von diesen wird ein Gestell von Messing getragen, welches in seinen Seitenbalken einen horizontalen Durchschnitt der Nase mit den inneren Wänden der Augenhöhlen *bb'* darstellt. Nach vorn geht von *bb'* an jeder Seite ein Ring *cc'*, *cc'* aus, der die Augenhöhle repräsentirt. Durch jeden dieser Ringe gehen schräg von hinten nach vorn 4 Schrauben, oben zwei *dd'* und *dd'*, und unten zwei, die den Augapfel in Form eines Nussgelenkes, wie das Fettpolster der Augenhöhle, berühren. Die vier Schrauben bilden vier Punkte, die von der ganzen Nussschale, welche gewissermassen von dem Fettpolster der Augenhöhle gebildet wird, stehen geblieben sind. Drei Punkte hätten auch ausgereicht, wenn dieselben so anzubringen gewesen wären, dass sie die Muskelfäden in ihrer seitlichen Verschiebung bei den Bewegungen des Auges nicht gehindert hätten. Durch eine dieser vier Schrauben, nämlich durch die, welche nach unten und aussen sich befindet, wird aber dennoch

der Musculus obliquus inferior bisweilen etwas behindert, dann muss man den Augapfel ein wenig nach vorn ziehen, wobei der Muskelfaden sehr leicht über die Schraube wegspringt. In die Spitze einer jeden Schraube sind kurze Stückchen dicker Darmsaiten eingesetzt, damit sie sanft über den glatt polirten Augapfel weggleiten. Der Augapfel wird in dieser so eonstruirten Augenhöhle durch die Muskelfäden festgehalten und gegen die Spitzen der Schrauben gedrückt.

Am hinteren Ende der Augenhöhle, in der Gegend des Ursprunges der geraden Muskeln und des oberen sehiefen Muskels, naeh unseren Bestimmungen 20^{mm} hinter dem hinteren Pole der optisehen Axe, geht von der inneren Augenhöhlenwand bb', eine an einem kurzen Arm sitzende, mit entsprechenden Löehern versehene Scheibe ee' für die Ursprünge der Muskeln ab. Nach vorn sind an dem Querbalken, zwischen den Augenhöhlenringen an jeder Seite zwei Hebelarme, einer für die Trochlea ff' und einer für den Ursprung des Obliquus inferior gg' befestigt. Die Ursprünge der Muskeln und die Troehlea sind mögliehst genau naeh den in der Tabelle enthaltenen Zahlen angebracht; ebenso die Insertionen. Jedoeh ist zu bemerken, dass die Insertionen der vier geraden Muskeln hier am Modell in der Mitte zwisehen dem Aequator (der xz-Ebene) und der wahren Insertion angebraeht sind, und zwar aus dem Grunde, weil naeh meinen Untersuchungen die seitliche Verschiebung des Theiles der Muskeln, der mit dem Bulbus in Berührung ist, bei den Bewegungen des Auges noch über den Aequator hinausgeht. Da aber am natürlichen Auge die breiten Muskeln durch Zellgewebe locker mit dem Bulbus und unter sich dureh festeres Zellgewebe und

durch die Foscia bulbi oculi verbunden sind, wodurch die seitliche Verschiebung einigermassen behindert wird, und da sich am Modell nur Fäden anbringen liessen, die bloss an der Insertion befestigt sind, so glaubte ich der Natur am nächsten zu kommen, wenn ich die Mitte zwischen ihrer wahren Insertion und dem Aequator als Insertionspunkt annähme. Ausserdem kommt es bei dem, was das Modell leisten soll und kann, vorzugsweise auf die Richtung an, in der die Muskelfäden zum Bulbus treten, und diese Richtung wird nahezu richtig sein. Aus diesem Grunde kommt denn auch auf den Verlauf der Fäden des Obliquus superior und inferior hinter den Rollen nicht viel an; sie sind daher auf die bequemste Weise nach hinten geführt. Von Wichtigkeit ist aber die Richtung des Tendo des Obliquus superior von der Trochlea zum Bulbus und des Obliquus inferior vom Ursprunge zu seiner Insertion. Der Ursprung der letzteren wird hier auch durch eine Rolle dargestellt, damit über dieselbe hinaus der Faden nach hinten zu der Scala geführt werden konnte.

Der Tendo des Obliquus superior steht zur nach vorn und horizontal gerichteten optischen Axe zur (yz-Ebene) in einer Richtung von nahezu 55°; seine Insertion ist auch ziemlich in der Mitte zwischen der yz-Ebene und seinem wahren Insertionspunkte nach hinten und aussen angebracht.

Der Obliquus inferior steht zur yz-Ebene in einem Winkel von 49—50°, seine Insertion ist an den unteren Rand des Rectus externus gestellt, weil er von dieser Stelle an, wegen seines festen zellgewebigen Zusammenhanges mit dem Rectus externus und mit dem Bulbus, keine seitliche Bewegung mehr erleiden zu können scheint.

Die Muskelfäden bestehen aus festgeflochtener Seide und sind fast gar nicht elastisch. Wenn sie durch die Insertionslöcher von *ee'* getreten sind; dann laufen sie über Rollen *hh'* nach unten vor einer in Millimeter getheilten Scala *ii'* vorbei und verlieren sich nach unten in dem hölzernen Kasten, wo sie einzeln an hebelförmig wirkenden Federn befestigt sind. An den Fäden auf der Scala befinden sich kleine 5^{mm} lange messingene Hülsen als Indices. Stehen diese auf dem mit *o* bezeichnetem Raume auf der Scala (Fig. 2), so befinden sich die Sehaxen der künstlichen Augen in der Anfangsstellung d. h. normal zur Facialebene; werden die Augen aus dieser Stellung in irgend eine andere übergeführt, was sehr leicht durch Berühren mit den Fingern ermöglicht wird, so gehen die Indices derjenigen Muskeln, welche sich verkürzen, nach unten, dagegen die Indices derjenigen Muskeln, welche sich verlängern, nach oben, während diejenigen Indices, welche den in Ruhe bleibenden Muskeln angehören, ihren Platz behaupten. Das Maass dieser Locomotion zeigt den Grad der Verkürzung und Verlängerung der einzelnen Muskeln in Millimetern an. Da aber an diesem Modell, der Bequemlichkeit der Handhabung wegen, alle Dimensionen den doppelten Durchmesser der mittleren natürlichen Verhältnisse besitzen, so versteht es sich von selbst, dass das Maass der Verkürzung oder Verlängerung der einzelnen Muskeln auch doppelt so gross ist, als am natürlichen Auge.

Jeder künstliche Augapfel ist durch drei angedeutete Ebenen, die xy-Ebene, die xz-Ebene und die yz-Ebene in 8 gleiche Theile getheilt. Diese Theilung geht auch durch das am hinteren Theile des Bulbus angebrachte matt geschliffene Glas, welches die Retina darstellt. Sie

dient dazu, um die Lage dieser Ebenen bei den verschiedenen Stellungen der Augen, theils durch Visiren nach einem Objeet, theils durch Aufstellung eines transparenten, in Grade getheilten Halbkreises, und um die identischen Stellen beider Netzhäute bestimmen zu können.

Fig. 2. Eine perspectivische Zeichnung des ganzen Instrumentes.

Die Aufnahme derselben ist von links, vorn und oben geschehen. Der Augenpunkt liegt nach oben und reehts ungefähr da, wo die Zahl 3 über der dritten Figur sich befindet. Bringt man das eine Auge, während man das andere schliesst, in die Höhe von 3 und schaut man so die Abbildung aus der Entfernung des deutlichen Sehens an, so wird sie den sehönsten perspectivischen Anblick gewähren. Das Bild bedarf keiner weiteren Erklärung, indem es nach genauer Betrachtung des Grundrisses von selbst klar sein wird.

Fig. 3. Der optische Theil der künstlichen Augen.

Der Augapfel selbst ist aus Elfenbein, oder aus Buchsbaum gefertigt, und hat ungefähr die Form, die man als die richtige annimmt. Der Augapfel, wovon Fig. 3 einen horizontalen Durchselmitt darstellt, ist in der Richtung der optischen Axe durchbohrt. In diese Durchbohrung wird ein messingener hohler Cylinder ab, $a'b'$ befestigt, welcher im Innern glatt, eylindrisch ausgearbeitet und mit einem schwarzen Pigment überzogen ist. In den vorderen Theil dieses hohlen Cylinders lässt sich die Hülse cc' stecken und vermittelst ihres Randes dd' herumdrehen; damit sich aber bei diesem Drehen die

Hülse nicht herausziehen lässt, ist vorn an der Stelle, wo die kleinen versenkten Schrauben sichtbar sind, eine Nuthe in die Hülse gedreht, in welche die in dem Cylinder ab, $a'b'$ befestigten vier Schrauben eingreifen. In der Figur sind nur zwei dieser Schrauben sichtbar. Die Hülse cc' ist im Innern mit einem Schraubengewinde versehen und dient der Hülse ff zur Mutter; ff lässt sich in ab, $a'b'$ der Länge nach verschieben, ohne sich dabei zu drehen, indem durch den langen Schlitz g ein Stift geht, welcher in ab, $a'b'$ festsitzt. Wird nun die Hülse cc' an ihrem Rande dd' gedreht, so wird sich bei dieser Drehung die Hülse ff in cc' schrauben. Durch diese Drehung kann man also der Hülse ff eine sehr lineare Bewegung geben. Diese lineare Bewegung dient dazu, um die in der Hülse ff festsitzende Linse l, welche eine Brennweite von 44^{mm} hat, zum Zwecke der Accommodation für nahe und ferne Objecte, je nachdem man dd' rechts oder links herumdreht, vor- oder rückwärts zu schieben. In dem Cylinder ab, $a'b'$ befindet sich ee' ein mattgeschliffenes, nach der Form des hinteren Theiles des Augapfels gewölbtes Hohlglas, welches das Bild der Objecte auffängt. In dieses Hohlglas ist ein verticaler und horizontaler Strich geschnitten, der dasselbe, gleich einem Fadenkreuze, in vier gleiche Theile theilt, damit man leicht die Lage der Augen gegenüber den Objecten und die identischen Stellen beider Netzhäute bestimmen kann. Dieses Fadenkreuz fällt mit der yz-Ebene und mit der xz-Ebene des Augapfels zusammen. Vor der Linse l befindet sich anstatt der Iris ein Diaphragma von Messing mit einer Pupille von mittlerer Grösse, welches hinten schwarz und vorn blau gefärbt ist. Dasselbe ist wie das die Hornhaut vorstellende

Glas hh' in der Hülse cc' befestigt. Ausserdem sind an dieser Figur noch die Drehungsaxen für die Musculi obliqui, und für den Musculus rectus superior und inferior, so wie auch die optische Axe $33'$ durch punktirte Linien angedeutet.

Bedenken gegen das Ophthalmotrop und Bezeichnung der Grenze der Wirkung desselben.

Zur Begegnung der Bedenken, welche mir hie und da mündlich darüber geäussert wurden, dass die am natürlichen Auge platten Muskeln am Ophthalmotrop durch runde Fäden dargestellt sind, habe ich noch Folgendes anzuführen: Die 6 Augenmuskeln sind aus nahezu parallelen Fasern zusammengesetzt, so dass man, wie auch Fick schon in seiner medicinischen Physik nachgewiesen hat, ohne Bedenken die Partitialwirkungen der einzelnen Fasern zu einer Resultante vereinigen kann, deren Richtung durch die Mittelpunkte des Ursprunges und Ansatzes gegeben ist. Für anders gestaltete Muskeln würde natürlich die Resultante nur durch eine schwierige, häufig vielleicht nicht einmal ausführbare Integration zu finden sein, und man ist dann überdies vielleicht noch nicht einmal berechigt, anzunehmen, dass sich alle Fasern ein und desselben Muskels allemal mit gleicher Intensität contrahiren, ohne welche Annahme doch kein Kalkül mehr ausführbar wäre. Bei den Augenmuskeln schwindet dieses Bedenken sofort, denn wenn auch die eine oder die andere Faser ruht, so ändert dies an der Richtung der Resultante nichts, sondern nur an ihrer Intensität. Den Augapfel selbst kann man für diese Beobachtungen dreist als Kugel gelten lassen, die sich nur um einen festen

Punkt drehen kann, denn die Locomotionen des Drehpunktes, falls deren überall vorkommen, sind jedenfalls gegen die Drehungen als Grössen höherer Ordnung anzusehen und fallen deshalb aus der Rechnung.

Am Ophthalmotrop sind die Augäpfel durch die 4 auf jeden Augapfel stossenden Schrauben, welche das Fettpolster der Augenhöhle vorstellen, so fixirt, dass der Drehpunkt unverrückbar ist. Die Unverrückbarkeit des Drehpunktes bei den verschiedenen Bewegungen des Auges ist jedenfalls durch die Untersuchungen von Volkmann bewiesen. Ob dieselbe aber, wie Fick meint, allein schon durch die Lagerung des Augapfels im Fettpolster der Augenhöhle, oder auch durch theilweises Gegeneinanderwirken der geraden und schiefen Augenmuskeln bedingt sei, ist noch wol sehr die Frage. Ich meines Theiles bin der letzteren Ansicht, denn es ist offenbar, dass der Augapfel wenigstens merkbar nach hinten rückt, wenn man einen mässigen Druck mit der Hand auf die Cornea ausübt und dass nach vollständiger Trennung eines der geraden Augenmuskeln vom Bulbus der Augapfel etwas aus der Orbita hervortritt. Jedenfalls kommen aber am gesunden Auge merkbare Ortsbewegungen nicht vor und wir haben es daher am lebendigen Auge, wie am Ophthalmotrop allein mit Drehungen zu thun.

Die Ursprünge der Muskeln sind als in einer Verticalebene liegend angenommen und zwar ist der hinterste Punkt der Mitte des Rectus superior als Norm dabei zu Grunde gelegt. Dieser Punkt liegt im Durchschnitt 32^{mm} hinter der Mitte des Auges. Diese Annahme wird dadurch gerechtfertigt, dass es bei den Zwecken, die das Ophthalmotrop verfolgt, lediglich auf die Richtung der Muskeln, welche sie vom Ursprunge zum Ansatze ver-

folgen, und nicht auf ihre Länge und Masse ankommt.

Das Ophthalmotrop soll nämlich in Beziehung auf die Wirkung der Muskeln weiter nichts bezwecken, als den quantitativen Antheil eines oder mehrerer Muskeln zu zeigen, den sie an einer bestimmten Bewegung des Auges nehmen; es belehrt uns über die Lagenveränderung der Muskelinsertionen und über den Grad der Verkürzung und Verlängerung der einzelnen Muskeln während einer Bewegung des Auges und nach Vollendung derselben. Hierbei werden also diejenigen Muskeln als die thätigen erscheinen, deren Insertionspunkt dem Ursprungspunkte näher gerückt ist, die sich demnach verkürzt haben; das Maass der Verkürzung der betheiligten Muskeln, also der Antheil derselben an der Drehung des Augapfels wird durch das Hinabrücken der Indices der Muskelfäden auf der Scala (vergl. die Abbildungen) unmittelbar abgelesen.

Die Angabe des Quantums der Verkürzung eines oder mehrerer Muskeln ist aber nicht für den Ausdruck derjenigen Kraft zu nehmen, mit welcher der Muskel thätig ist oder war. Das Verhältniss der Verkürzung zweier als gleich zu betrachtender Augenmuskeln, die gleichzeitig sich zu verkürzen begannen und gleichzeitig ihre Wirkung einstellten, darf, wie Meissner (Archiv für Ophthalmologie von A. v. Graefe. II. 1. Berlin 1855. Seite 109.) ganz richtig hervorhebt, nur dem Verhältniss gleichgesetzt werden, in welchem sie sich bei der Drehung des Auges betheiligten. Wenn man diesen Antheil, den ein Muskel activ an der Drehung nahm, die von ihm entwickelte Kraft nennen will, seine Kraftäusserung, so ist dieser Begriff nicht identisch mit dem Begriffe

Kraft, der mit dem Ausdrucke der absoluten Kraft bezeichnet wird; sondern jener Antheil des Muskels an der Drehung ist nur die Arbeit (der Nutzeffect, der Wirkungsbetrag), die der Muskel geleistet hat, und das Verhältniss der Verkürzung der Muskeln ist identisch mit dem Verhältniss der geleisteten Arbeit.

Als absolute Kraft bezeichnet man nach Ed. Weber (Handwörterbuch der Physiologie von R. Wagner, Artikel Muskelbewegung) die Kraft eines zur Contraction strebenden Muskels, womit er einem bestimmten Gewicht gerade das Gleichgewicht hält, so dass der Muskel, weder das Gewicht hebt, noch durch dasselbe ausgedehnt wird. Diese bezeichnete absolute Kraft des Muskels ist, wie Weber nachgewiesen hat, dem Querschnitte desselben proportional, wobei ein bestimmter physiologischer Zustand der Muskelsubstanz vorausgesetzt wird. Diese absolute Kraft wird nur entwickelt, wenn der Muskel aus dem Zustande der Ruhe in den der Contraction überzugehen strebt. Die Ermittelung dieser Kraft ist nicht Aufgabe des Ophthalmotrops.

Aber man hat mir eingewandt, dass das Ophthalmotrop auch selbst über die Verkürzung und Verlängerung der Muskeln bei den verschiedenen Bewegungen kein einigermassen sicheres Resultat liefern könne, weil hier die Muskelfäden mit einem starren Augapfel verbunden wären, während der lebendige Augapfel nicht vollkommen gefüllt und deshalb durch die Muskeln zusammendrückbar sei, wodurch nothwendig der Wirkungsbetrag der Muskeln modificirt werden müsse. Den Beweis hierfür entnimmt man daraus, dass das gefrorne Auge an der Stelle der Muskeln vertiefte Furchen zeigt. Hiergegen habe ich aber zweierlei einzuwenden: 1) dass

schon unmittelbar nach dem Tode das Auge etwas erschlafft und zwar dadurch, dass das Blut grösstentheils aus demselben heraustritt, was ich deutlich bei Kaninchen mit dem Augenspiegel beobachtet habe; 2) dass ich nach Durchschneidung sämmtlicher Augenmuskeln bei Kaninchen keinen Unterschied in der Spannung vor und nach der Durchschneidung habe wahrnehmen können. Der Druck der Muskeln auf den Bulbus ist demnach jedenfalls nicht so erheblich, dass er mit in Rechnung gebracht werden müsste.

Methode der Beobachtung mit dem Ophthalmotrop.

Keine Muskelgruppe bietet einfachere Verhältnisse dar, als die der 6 Muskeln des Augapfels und nie hat man daran gezweifelt, dass das Problem ihres Zusammenwirkens, bei zu Grundelegung eines der Wirklichkeit nahe kommenden Schemas, auf analytischem Wege gelöst werden könne. Aber nur Fick (a. a. O.) hat sich das Verdienst erworben, die mathematischen Principien wirklich auf die Bewegungen der Augen angewandt zu haben, um dadurch den Antheil, den die einzelnen Muskeln an den Drehungen desselben nehmen, zu bestimmen. Er sagt: „Niemand wird die Behauptung anfechten, dass ein richtiges Schema des Auges ganz dasselbe zu leisten im Stande sein wird, wie ein wirkliches Auge und zwar, so weit die Betrachtung überhaupt reicht, auch mit denselben Mitteln; jedenfalls mit denselben Principien, und darauf kommt es ja zunächst an.“ Gesteht man dies von einem Schema in Beziehung auf die analytische Berechnung zu, so wird man dasselbe auch von einem nach dem Schema construirten Modell in Beziehung

auf die unmittelbare Anschauung der Bewegungen der Augen und des Antheiles der Muskeln an denselben gelten lassen müssen.

Dieses Modell, das Ophthalmotrop, zeigt uns also dasselbe unmittelbar, was man auf analytischem Wege durch weitläufige Rechnungen erst ermitteln muss. Solche Rechnungen sind aber den meisten Physiologen und namentlich den Ophthalmologen zu weitläufig und zu schwierig, daher wird ein solches Hülfsmittel, bei der grossen theoretischen und praktischen Wichtigkeit des Gegenstandes, gewiss nicht ohne Interesse sein.

Will man aber mit dem Ophthalmotrop nahezu richtige Resultate gewinnen, so muss man auf eine methodische Weise damit beobachten, d. h. man muss die künstlichen Augen in dieselbe Stellung bringen, welche die natürlichen Augen bei der Fixation eines Objectes in einer bestimmten Richtung annehmen; zu diesem Ende muss man wissen, wie sich bei den verschiedenen Richtungen des Blickes das im Auge feste Coordinatensystem zu dem im Raume festen Coordinatensysteme verhält. Das Verhältniss lässt sich aber mit Sicherheit nur auf dem Wege der Beobachtung am lebendigen Auge ermitteln, denn wenn auch die Sehaxen (die y-Axen) beider Augen sich bei den verschiedenen mit gesunden Augen begabten Menschen stets auf dieselbe Weise auf einem Punkte des Objectes kreuzen, so weiss man doch nicht a priori wie viel, z. B. beim Blicke nach oben und aussen, oder nach unten und aussen, die auf die optische Axe projicirte Drehung beträgt, was am sichersten dadurch bewiesen wird, dass diese Drehung bei verschiedenen Menschen in einer und derselben Stellung der Sehaxen etwas verschiedene Werthe zeigt. Auch ist es nicht immer gleich,

ob man mit dem rechten, oder mit dem linken Auge allein oder mit beiden Augen zugleich fixirt. Indessen sind die sich hierbei herausstellenden Unterschiede doch so klein und so inconstant, dass sie vielleicht nur aus Beobachtungsfehlern erklärt werden müssen.

Zur empirischen Ermittelung der Augenstellung und namentlich der Neigung der verticalen Meridiane (y' z' Ebene) bei den verschiedenen Arten des Blickes habe ich meine Zuflucht wieder zu der Beobachtung der Nachbilder genommen, zu der Methode, die ich, wenn auch nur sehr kurz, schon 1845 in meinem Lehrbuche der Ophthalmologie und in der Abhandlung über das Ophthalmotrop angegeben habe. Donders (holländische Beiträge, B. I. h. 2. 1847.) hat diese Methode vervollständigt und schätzbare Beobachtungen, namentlich über die Stellung der Augen bei geneigtem Kopfe damit angestellt. Uebrigens muss ich noch die Bemerkung hinzufügen, dass Donders bei seinen Beobachtungen das Nachbild stest auf eine Ebene projicirt hat, welche parallel mit der Ebene des Gesichts stand, wobei die Neigung des dem verticalen und horizontalen Meridian entsprechenden Nachbildes, wegen der perspectivischen Projection, nicht richtig bestimmt werden kann. Die Projectionsebene muss vielmehr, wenn man richtig ablesen will, normal zur Visirebene d. h. zu der Ebene stehen, die vom Mittelpunkte beider Augen zum Fixationspunkte durch die Sehaxen gelegt wird.

Meine Messungen beziehen sich nur auf die aufrechte Stellung des Kopfes. Der Kopf wurde zu dem Ende gegen eine feste Wand gestützt und nach dem Augenmaass perpendiculär gestellt. Die Sehaxen wurden dann auf den Mittelpunkt eines aus zwei schmalen rothen Streifen bestehenden rechtwinkeligen Kreuzes gerichtet, wobei der

Mittelpunkt des Kreuzes in gleicher Höhe mit den Mittelpunkten beider Augen stand. Neben diesem Kreuze wurde eine mattgraue Scheibe, auf der ein in Grade getheilter grosser Transporteur gezeichnet war, rechtwinkelig zur Visirebene aufgestellt. Der Blick wurde dann zuerst auf den Mittelpunkt des rothen Kreuzes geheftet und darauf auf den Mittelpunkt des Transporteurs gerichtet, auf dem dann das grüne Nachbild des rothen Kreuzes so deutlich erschien, dass man die Neigung des verticalen und horizontalen Striches, was gleichbedeutend mit der Neigung des verticalen und horizontalen Meridians (der $y'z'$-Ebene und der $x'y'$-Ebene) ist, ziemlich genau abzulesen im Stande war. Es wurden auf diese Weise 8 vielfach wiederholte Stellungen der Augen in einer Entfernung

von — — 1800 mm

und 8 Stellungen in einer Entfernung

von — — 3600 mm

gemacht, über welche die nachfolgende Tabelle Rechenschaft giebt. Zuvor habe ich aber noch Folgendes zu bemerken: — bedeutet beim Azimuth „links", bei der Höhe "unten„; + dagegen beim Azimuth "rechts, bei der Höhe oben„; bei der Neigung bedeutet — die Abweichung des oberen Theiles des verticalen Meridians nach links; + die Abweichung oder Neigung nach rechts.

Bei der Richtung der Sehaxen vertical nach oben oder unten, und bei der horizontal nach rechts oder links zeigten sich bei meinen Untersuchungen, wie bei denen von Donders keine Abweichungen von der ursprünglichen Stellung der Meridiane. Die sich hierauf beziehenden Versuche sind daher nicht mit in die Tabelle aufgenommen.

Die Entfernung des Visirpunktes vom Auge wurde

mit einem Bandmaasse gemessen; Azimuth und Höhe mit einem Goniometer.

Stellung des Transporteurs	Entfernung des Visirpunktes u. des Transporteurs.	Azimuth	Höhe	Neigung des verticalen Nachbildes der Augen			Namen des Beobachters.
				rechtes	linkes	beide	
nach oben und links	1800mm	−26,5°	+ 18	−10°	−12°	− 8°	Dr Schulze
nach oben und rechts	—	+ 26°	+ 17	+13°	+11°	+13°	Dr Schulze
nach unten und links	—	− 17°	−15°	+ 7°	+ 7°	+ 8°	Dr Schulze
nach unten und rechts.	—	+ 18°	−15°	− 8°	− 8°	− 8°	Dr Schulze
nach oben und links	—	−26,5°	+18°	−10°	−10°	−10°	Ruete
nach oben und rechts	—	+ 26°	+17°	+10°	+11°	+10°	Ruete
nach unten und links	—	− 17°	−15°	+ 8°	+ 8	+ 8°	Ruete
nach unten und rechts.	—	+ 18°	−15°	− 7°	− 7°	− 7°	Ruete
nach oben und links	3600	− 13½	− 11	− 2	− 2	− 2	Dr Schulze
nach oben und rechts		+ 14	+ 11	+ 5	+ 5	+4-5	Dr Schulze
nach unten und links		− 14½	− 9	+ 4	+ 4	+ 4	Dr Schulze
nach unten und rechts.		+ 14	− 9½	− 3	− 3	− 3	Dr Schulze
nach oben und links		− 13½	+ 11	− 3	− 3	− 3	Ruete
nach oben und rechts		+ 14	+ 11	+ 3	+ 5	− 5	Ruete
nach unten und links		− 14½	− 9	+3-4	+ 4	+ 4	Ruete
nach unten und rechts.		+ 14	− 9½	− 3	− 3	− 3	Ruete

Die obige Beobachtungsweise haben wir vielfach wiederholt und stets wenn auch nicht vollkommen, aber doch nahezu dieselben Resultate erhalten. Da es aber

unmöglich war, ganz übereinstimmende Beobachtungen zu gewinnen und da unsere Augen nach und nach etwas angegriffen wurden, so mussten wir uns mit den bereits gewonnenen Resultaten begnügen und Herr Dr. Schulze, ein ausgezeichneter junger Mathematiker, unternahm es, aus den freilich immer noch mangelhaften Beobachtungen eine Formel zu entwickeln, nach welcher die Abweichung der verticalen Meridiane vom Verticalismus berechnet werden kann. Vergleiche die Anmerkung*).

Zur Ermittelung des Wirkungsbetrages der einzelnen Augenmuskeln durch das Ophthalmotrop hat man den Augen des Instrumentes dieselbe Stellung zu geben, welche die lebendigen Augen bei einer bestimmten Richtung des Blickes hatten. Hierbei verfährt man auf folgende Weise: Man stellt das Ophthalmotrop in dieselbe

*) Um zu ermitteln, durch welche mathematische Formel der Zusammenhang der Grösse der Raddrehung R mit dem Azimuthe A und der Höhe H ausdrückbar ist, nahmen wir versuchsweise an, R lasse sich darstellen $= c.\ A.\ H$, wo c eine noch unbekannte, durch die Beobachtungen zu ermittelnde Grösse ist. Diese Form der Abhängigkeit des R von A und H bot sich uns deshalb dar, weil durch sie die Bedingungen erfüllt werden, dass

1) R verschwindet, wenn A oder $H = o$ ist; dass

2) R positiv oder negativ ist, je nachdem A und H gleiches oder entgegengesetztes Zeichen haben; und dass endlich

3) R seinen Werth nicht ändert, wenn man die Werthe von A und H gegenseitig vertauscht.

Die Grösse c zu bestimmen, würde eine einzige Beobachtung von zusammengehörigen Werthen der Winkel R, A und H genügen, sobald man ihnen absolute Genauigkeit zuschreiben könnte. Da aber Beobachtungsfehler unvermeidlich sind, so wird aus jeder Beobachtung ein anderes c resultiren, und es stellt sich die Aufgabe dahin, aus allen Beobachtungen den wahrscheinlichsten Werth von c zu finden.

Substituirt man in die Gleichung $R = c.\ A.\ H$ die zusammenge-

Höhe und Entfernung vom Visirpunkte als vorher die lebendigen Augen, darauf richtet man die optische Axe

---

hörigen Werthe aus der obigen Tabelle der Beobachtungen, so erhält man dadurch für c folgende 16 Bedingungsgleichungen:

$-\ 9\frac{2}{3} = -\ c.\ 477$	$-\ 2\frac{1}{2} = -\ c.\ 148\frac{1}{2}$
$+\ 11\frac{1}{3} = +\ c.\ 442$	$+\ 5 = +\ c.\ 154$
$+\ 7\frac{2}{3} = +\ c.\ 405$	$+\ 4 = +\ c.\ 130\frac{1}{2}$
$-\ 7\frac{1}{2} = -\ c.\ 420$	$-\ 3 = -\ c.\ 133$
$-\ 8\frac{2}{3} = -\ c.\ 510$	$-\ 3\frac{1}{4} = -\ c.\ 160$
$+\ 8\frac{1}{2} = +\ c.\ 620$	$+\ 4\frac{1}{4} = +\ c.\ 140$
$+\ 9\frac{1}{2} = +\ c.\ 558$	$+\ 4\frac{1}{3} = +\ c.\ 168$
$-\ 7\frac{1}{3} = -\ c.\ 558$	$-\ 3\frac{1}{2} = -\ c.\ 154$

wo für R das arithmetische Mittel aus je drei zusammengehörigen Beobachtungen gesetzt ist.

Nun lehrt die Methode der kleinsten Quadrate, dass, wenn man für c ein System Gleichungen von der Form $n = c.\ a$ hat, man den wahrscheinlichsten Werth von c aus $N = c.\ A$ findet, wo N die Summe der Produkte $a.\ n$ und A die Summe der Quadrate der verschiedenen a aus allen Gleichungen bedeuten.

In unserem Falle ist

$N = 31790{,}5$, $A = 1302611$, also

$$c = \frac{31790{,}5}{1302611} = \frac{1}{40{,}975} \text{ oder nahe zu } = \frac{1}{41}$$

Substituirt man diesen Werth in die Formel und berechnet mit derselben die Grösse der Raddrehung bei den obigen 16 Beobachtungen, so findet man die Fehler der letzteren, wie folgt:

$+\ 1\frac{2}{3}$	$+\ 1\frac{2}{3}$
$-\ 1\frac{2}{3}$	$-\ 1\frac{1}{4}$
$-\ 1$	$-\ \frac{4}{5}$
$-\ 1\frac{1}{3}$	$+\ \frac{1}{4}$
$+\ 1\frac{2}{3}$	$+\ \frac{2}{3}$
$-\ \frac{1}{6}$	$-\ 1\frac{1}{4}$
$-\ 1\frac{3}{4}$	$-\ \frac{4}{5}$
$-\ \frac{1}{3}$	$+\ \frac{1}{4}$

Da uns diese Fehler noch zu gross schienen, so fügten wir der Formel $R = c.\ A.\ H$ noch den Faktor $\left(1 - \frac{R^2\ H^2}{b^2}\right)$ an und fanden nun

der künstlichen Augen auf den Mittelpunkt (Visirpunkt) eines von 10 zu 10 Grad getheilten Kreises und giebt zugleich dem verticalen Meridian eines jeden künstlichen Auges diejenige Neigung, die man als die natürliche ermittelt hat, z. B. etwa — 10° wenn der Kreis 1800 mm ent-

---

$$c = \frac{1}{40{,}7},\ b = 952, \text{ also}$$

$$R = \frac{1}{40{,}7} AH\left[1 - \left(\frac{AH}{592}\right)^2\right], \text{ oder, wenn man}$$

$$\frac{AH}{952} = \sin x \text{ setzt,}$$

$$R = 23{,}4 . \sin x . \cos^2 x$$

Diese neue Formel gab die Fehler

— 0,89	+ 1,06
+ 0,48	— 0,85
— 2,65 (?)	+ 1,32
+ 0,81	+ 0,21
+ 0,27	+ 0,57
+ 0,27	— 0,89
— 0,50	— 0,33
+ 1,67 (?)	+ 0,19

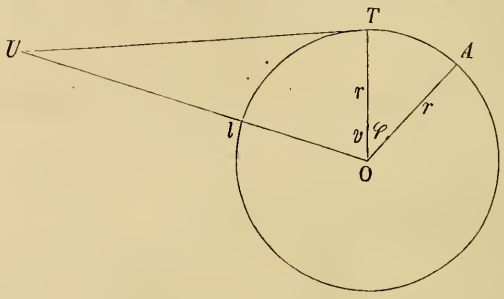
Bei den mit (?) bezeichneten Grössen dürfte der Fehler wol in den Beobachtungen liegen, da der Einfluss dieser Differenzen durch die Differenzen nahe liegender Beobachtungen zerstört wird.

Da sich die Bestimmung der Winkel, um welche sich das Auge bei einer gewissen Bewegung um die Axe jedes Muskels gedreht hat, zur Beurtheilung der Kraftanstrengung jedes Muskels wenig eignet, ndem nicht nur die Muskeln selbst, sondern auch ihre Drehungsaxen ihre Lage ändern, so lag es nahe, auf ein anderes Mittel zu denken, um ein Urtheil über die Muskelanstrengung zu gewinnen. Als solches bot sich uns die unmittelbare Berechnung der Längen jedes Muskels vor und nach einer gegebenen Bewegung dar, und wir fanden, dass, wenn uns die Coordinaten des Ansatzes und Ursprunges eines Muskels gegeben sind, sich dessen Länge leicht auf folgendem Wege ergiebt.

fernt ist, und in einem Azimuth von — 25° und in einer Höhe von + 25° (also nach oben und links) steht. Der

---

Denken wir uns durch den Ursprung U (Fig. 1.), dessen Coordinaten x_2, y_2, z_2, durch den Ansatz A, dessen Coordinaten x_1, y_1, z_1,



sind, und den Mittelpunkt O des Auges eine Ebene gelegt, so wird der Muskel seiner ganzen Länge nach in derselben enthalten sein und in zwei Theile zerfallen, den Einen UT, welcher eine gerade Linie und Tangente an der Kugel des Augapfels ist, und den Andern TA, dem Bogen eines grössten Kreises des Bulbus.

Setzt man $UO = \sqrt{x_2^2 + y_2^2 + z_2^2} = l$, den Kugelhalbmesser

$$OT = OA = r, \angle UOT = v, \text{ so ist}$$

$$\cos v = \frac{r}{l} \text{ und } UT = l. \sin v.$$

Bezeichnen wir weiter $\angle TOA$ durch φ, so ist nach einem bekannten Satze der analytischen Geometrie

$$\cos UOA = \cos(v + \varphi) = \frac{x_1x_2 + y_1y_2 + z_1z_2}{r.l} \text{ und}$$

$$TA = r.\ arc.\ \varphi, \text{ daher die Länge des Muskels}$$

$$= UT + TA = l.\ sin\ v + r.\ arc.\ \varphi^0.$$

Auf diese Weise bestimmten wir für die Ruhelage die Länge des

	mm
R. sup.	= 41,04
inf.	= 41,14
ext.	= 41,83
int.	= 38,60
Obl. sup.	= 21,56
inf.	= 28,03.

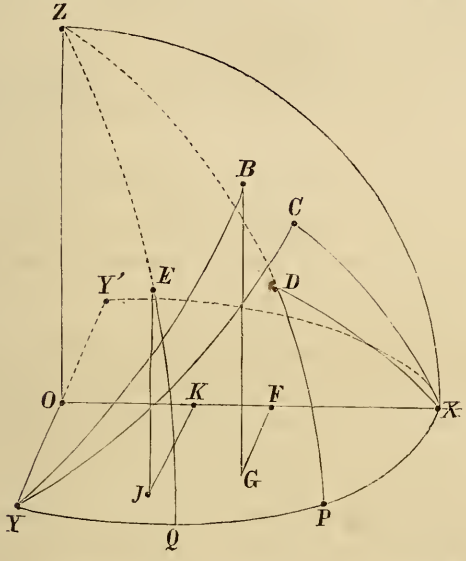
Kreis muss gross, etwa 1½ Fuss im Durchmesser, und auf weisser Pappe gezeichnet sein, die Gradstriche müssen

---

Es bleibt nun nur noch übrig, die Coordinaten ξ, η, ζ eines Ansatzes für gegebene Werthe von A, H und R zu bestimmen, wenn seine Coordinaten x_1, y_1, z_1 in der Ruhelage gegeben sind.

Betrachten wir zunächst das rechte Auge.

Sei B (Fig. 2.) der Ansatz eines Muskels in der Ruhelage, und seine Coordinaten $OF = x_1$, $FG = y_1$, $GB = z_1$; verbinden wir Y mit



B durch einen grössten Kreis und setzen $\angle\, BYX = M$, und Bogen $YB = m$, so ist

$$\text{tg } M = \frac{z_1}{x_1} \qquad (1.)$$

$$\text{tg } m = \frac{\sqrt{x_1^2 + z_1^2}}{y_1} = \frac{x_1}{y_1 \cdot \cos M}$$

Dreht sich nun das Auge um die YY^1-Axe um den Winkel R, wodurch B in die Lage C gelangt, so sind in dem nun entstandenen sphärischen Dreiecke $YCX : YC = m$, $YX = 90^0$, $\angle\, CYX = M - R$ bekannt; setzt man daher $\angle\, CXY^1 = N$, also $\angle\, CXY = 180^0 - N$,

schwarz und etwa ½ Zoll dick sein, weil sie sonst bei der genannten Entfernung im Ophthalmotrop nicht deutlich sichtbar sind. Ausserdem versteht es sich von selbst, dass die Scheibe, auf der dieser getheilte Kreis sich befindet,

---

und $CX = n$, so findet man durch Auflösung des genannten Dreiecks

$$tg\ N = -\ tg\ CXY = -\ tg\ m\ \sin\ (M\text{-}R) = -\ \frac{\sin\ (M\text{-}R)}{\cos\ M} \cdot \frac{x_1}{y_1} \quad (2.)$$

$$tg\ n = \frac{tg\ (M\text{-}R)}{\sin\ N}$$

Weiter drehe sich das Auge um OX als Axe um den Winkel H, wodurch C in die Lage D gelange, so ist

$DX = CX = n$, $\angle\ DXY^1 = N + H$, also $DXY = 180^0 - (N + H)$. Fällt man von D aus ein sphärisches Perpendikel DP auf YX und setzt

$DP = \delta$, $Y^1P = p$, also $XP = p - 90^0$, so findet man

$$tg\ p = -\ \cot g\ XP = \frac{\cot g\ n}{\cos\ (N+H)} = \frac{\sin\ N}{\cos\ (N+H)} \cdot \cot g\ (M\text{-}R) \quad (3.)$$

(wobei p so zu bestimmen ist, dass $\sin p$ dasselbe Vorzeichen hat, als $x_1 \cdot \frac{\cos\ (M\text{-}R)}{\cos\ M}$) und

$tg\ \delta = tg\ (N+H) \cdot \cos\ p$ (4.) ($\cos\ \delta$ stets positiv, also $-\ 90^0 < \delta < +\ 90^0$). Erfolgt endlich die Drehung um die Z-Axe um den Winkel A, wodurch D nach E gelangt, so ist das sphärische Perpendikel EQ ($\perp XY$) $= \delta$ und $Y^1Q = \alpha = p + A$ (5.) die sphärischen Coordinaten des Muskelansatzes, nachdem sich das Auge auf das Azimuth A und die Höhe H eingestellt hat, wenn zugleich die Raddrehung R ist. Diese sphärischen Coordinaten lassen sich nach bekannten Formeln in rechtwinkelige verwandeln, und man hat

$OK = \xi = r \cdot \cos\delta \cdot \sin\alpha$, $KJ = \eta = -\ r \cdot \cos\delta \cdot \sin\alpha$, $JE = \zeta = r \cdot \sin\delta$ (6).

Am linken Auge ändert nur die X-Axe ihre Richtung; es ist daher in diesen Formeln auch nur x_1 mit $-\ x_1$ zu vertauschen und dann

$$\xi = -\ r \cdot \cos\ \delta \cdot \sin\ \alpha \text{ zu setzen.}$$

Die so gefundenen Werthe von ξ, η, ζ braucht man nur statt x_1, y_1, z_1 anzuwenden, um die Länge eines Muskels nach der Bewegung zu finden.

Setzt man z. B. $A = -\ 25^0$, $H = +\ 25^0$, $R = -\ 10^0$, so hat man für den *R. sup* am rechten Auge

rechtwinkelig zur Visirebene gestellt sein muss. Dabei hat man darauf zu achten, dass die Augen des Ophthalmotrops, bevor sie auf den Visirpunkt gerichtet werden, ge-

---

$x_1 = +2$; $y_1 = -5{,}67$; $z_1 = +10$

$lg\, x_1 = 0{,}3010$, $lg\, y_1 = 0{,}7533n$, $lg\, z_1 = 1{,}0000$, $lg\left(\frac{-x_1}{y_1}\right) = 9{,}5477$

$M = 78^0 41' 25''$	$\cot g\,(M\text{-}R) = 8{,}3591$	$\cos M = 9{,}2925$
	$\sin N = 9{,}9415$	$\sin (M\text{-}R) = 9{,}9999$
	$\cos (N+H) = 8{,}8504$	$tg\, N = 0{,}2551$
	$tg\, p = 9{,}4502$	$N = 60^0 56' 10''$
$tg\,(N+H) = 1{,}1485$	$p = 15^0 44' 50''$	
$\cos p = 9{,}9834$	$\alpha = -9^0 15' 10''$	
$tg\, \delta = 1{,}1319$		
	$\sin \alpha = 9{,}2063n$	
	$\cos \delta = 8{,}8668$	
	$\cos \alpha = 9{,}9943$	
	$\sin \delta = 9{,}9988$	
	$lg\, r = 1{,}0792$	
	$lg\, \xi = 9{,}1523n$	
	$lg\, \eta = 9{,}9403n$	
	$lg\, \zeta = 1{,}0780$	
	$\xi = -0{,}14$	
	$\eta = -0{,}87$	
	$\zeta = +11{,}97$	

$x_2 = -10{,}67$	$x_1 x_2 = -21{,}33$	$\xi\, x_2 = +1{,}49$
$y_2 = +32$	$y_1 y_2 = -181{,}33$	$\eta\, y_2 = -27{,}84$
$z_2 = +4$	$z_1 z_2 = +40$	$\zeta\, z_2 = +47{,}88$
$l^2 = 1153{,}78$	$-162{,}66$	$+21{,}53$
$lg\, l = 1{,}5310$	$lg = 2{,}2113n$	$lg = 1{,}3330$
$\cos v = 9{,}5472$	$lg\,(lr) = 2{,}6102$	$lg\,(lr) = 2{,}6102$
$v = 69^0 19' 0''$	$\cos (v+\varphi) = 9{,}6011n$	$8{,}7228$
$\sin v = 9{,}9711$	$v+\varphi = 113^0 31' 25''$	$86^0 58' 45''$
$l.\sin v = 31{,}78$	$\varphi = 44^0 12' 25'$	$17^0 39' 45''$
	$arc.\, \varphi = 0{,}7715$	$0{,}3082$
	$r.\, arc.\, \varphi = 9{,}26$	$r.\, arc.\, \varphi = 3{,}70$

nau horizontal und parallel zu einer gerade vorliegenden Ebene stehen. Die horizontale Stellung wird durch eine aufgesetzte Wasserwage, oder auch schon durch das genaue Einspielen des angebrachten Pendels ermittelt.

Ist auf diese Weise alles mit Sorgfalt hergerichtet, so kann man den Wirkungsbetrag eines jeden Muskels bei den verschiedenen Stellungen der Augen, hinten an der Scala ablesen. Uebrigens muss ich bemerken; dass, da alle Dimensionen des Ophthalmotrops die doppelte natürliche Grösse haben, auch die Zahlen, welche die Verkürzungen und Verlängerungen der Muskeln anzeigen, doppelt so gross sind, als im natürlichen Auge und dass diese Zahlen selten mit den durch Rechnung gewonnenen ganz genau übereinstimmen, weil die Beobachtungsfehler nicht ganz zu vermeiden sind. Eine absolute Richtigkeit hat aber höchstens nur ein theoretisches Interesse, während eine nahezu richtige Angabe der Zahlen für alle physiologischen und praktischen Zwecke ausreicht.

Bevor ich die Resultate meiner Beobachtungen über den Wirkungsbetrag der Augenmuskeln bei einer bestimmten dem physiologischen Zwecke entsprechenden Endstellung anführe, habe ich erst noch einiges über die Bewegung der Augen im Allgemeineu vorauszuschicken.

Daher die Länge des *R. sup.* in der Ruhelage = 41,04
nach der Bewegung = 35,48,
also seine Verkürzung = 5,56, wie es auch mit den Beobachtungen am Ophthalmotrop nahe übereinstimmt.

Betrachtungen über Bewegung der Augen und über deren Drehungsaxen im Allgemeinen.

Für unsere Zwecke ist es vollkommen erlaubt, das menschliche Auge als eine Kugel zu betrachten, die sich um einen festen Punkt (den Drehpunkt) dreht.

Dieser Punkt liegt jedenfalls dem Mittelpunkte des Auges so nahe, dass man bei der Berechnung der Muskelwirkung ohne Nachtheil von letzterem ausgehen kann. Er liegt also etwa 12^{mm} hinter der Vorderfläche der Hornhaut auf der optischen Axe.

Der Drehpunkt des menschlichen Auges bleibt, bei normaler Function desselben, unter allen Verhältnissen stets unverrückt an derselben Stelle in der Orbita; thäte er das nicht, so würden mancherlei Verwirrungen, namentlich Doppelsehen bei den Bewegungen der Augen nach verschiedenen Richtungen entstehen. Der Bulbus macht demnach bei den Bewegungen keine Locomotion, sondern eine reine Rotation.

Die drehenden Kräfte sind am Auge durch 6 Muskeln repräsentirt, von denen ein jeder das Auge in einer bestimmten Richtung zu drehen strebt, und zwar sind die 6 Muskeln so angebracht, dass das Auge um 3 Drehungsaxen oder 6 Halbaxen, die auf das mannigfaltigste mit einander combinirt werden können, nach allen Richtungen, den drei Dimensionen des Raumes, gedreht werden kann.

A. Fick (medicinische Physik. S. 73.) stellt den Satz auf, dass unter gewissen Bedingungen 4 Muskeln genügen würden, um an einem arthrodischen Gelenke, wie am Auge, durch ihr Zusammenwirken Drehungen um jede beliebige durch den Mittelpunkt gelegte Axe zu bewir-

ken. Ungeachtet dieser Satz im Allgemeinen ganz richtig ist, so habe ich in Beziehung auf das Auge doch einiges dagegen einzuwenden. An einem Gelenke nämlich, an welchem eine solche Einrichtung getroffen wäre, müsste jede Drehung entweder durch einen der 4 Muskeln oder durch Combination von drei Muskeln bewirkt werden und dann wäre das Gleichgewicht nur durch eine sehr complicirte Innervation der Nerven auf die Muskeln zu erhalten. Auch müsste, wenn diese Einrichtung getroffen wäre, die Lage der Muskeln am Auge eine ganz andere sein und zwar eine solche, die mit der Construction des Auges und seiner Umgebung nicht harmonirte, jeder der 4 Muskeln würde dann in einer besonderen Ebene liegen, weil jede der 4 Halbaxen, die den einzelnen Muskeln zugetheilt wären, in einer anderen Ebene liegen würde, und zwar würde einer der 4 Muskeln vor der Cornea liegen. Am Auge liegen aber immer zwei Muskeln nahezu in einer Ebene, daher sind am Auge, wie ich früher schon behauptet habe, auch 6 Muskeln nöthig, um beide Augen richtig zu orientiren, wobei ausserdem das Gleichgewicht auf eine sehr einfache Weise erhalten wird. Ich vermag es nun freilich nicht zu sagen, ob die Natur irgendwo ein arthrodisches Gelenk mit 4 Muskeln und 4 Halbaxen eingerichtet hat, am Auge waren aber, bei der dermaligen Organisation, 6 Muskeln und 6 Halbaxen nicht bloss das Einfachste sondern auch das allein Mögliche.

Von den 6 Augenmuskeln liegen je zwei ziemlich in einer Ebene, welche die Richtung des Zuges derselben enthält. Die Ebene wird bestimmt durch drei Punkte, durch den Ursprungspunkt, den Insertionspunkt der Muskeln und durch den Drehpunkt des Auges. Da nun aber

der Insertionspunkt seine Lage in der Orbita bei den Drehungen des Auges ändert, so wird in den verschiedenen Lagen des Auges die Muskelebene eine verschiedene sein können, und da die Lage der Drehungsaxe sich nach der Lage der Muskelebene richtet, so ist es nöthig, bei einer speciellen mechanischen Betrachtung zunächst eine bestimmte Stellung des Auges als Anfangsstellung festzusetzen. Eine solche Stellung würde, wie ich schon vor langer Zeit gezeigt habe, die sein, in der die 6 Muskeln sich im Gleichgewichte, nämlich in dem Zustande befinden, wo sie weder contrahirt noch erschlafft sind. Dieses Verhältniss wird äusserlich dadurch charakterisirt, dass die Sehaxe horizontal und rechtwinklig zur Gesichtsebene gerichtet ist. In dieser Stellung verhalten sich die Muskelebenen so, dass es annähernd richtig ist, je zwei der Augenmuskeln als Antagonisten zu betrachten. Ein absoluter und in allen Lagen des Auges sich gleichbleibender Antagonismus findet freilich nicht statt, weil die Ebenen je zweier Muskeln nicht genau zusammenfallen und weil deshalb auch nicht, wie wir unten sehen werden, je zwei Halbaxen in die Richtung eines Durchmessers fallen. Für die gewöhnlichen praktischen Zwecke reicht es indessen aus, je zwei Muskeln als Antagonisten zu betrachten.

Die Drehungsaxe, um welche ein Muskel, wenn er allein thätig wäre, das Auge drehen würde, ist der auf der genannten Muskelebene im Drehpunkte senkrecht stehende Durchmesser des Auges. Um jeden Durchmesser einer frei beweglichen Kugel ist eine Drehung nach zwei einander gerade entgegengesetzten Richtungen möglich, und man pflegt eine jede dieser beiden Richtungen auf einen Halbmesser als Drehungsaxe zu beziehen, und

zwar so, dass diejenige Halbaxe des Durchmessers als Drehungsaxe bezeichnet wird, um welche, vom Endpunkte derselben aus gesehen, die Drehung in dem Sinne erfolgt, wie sich der Uhrzeiger dreht. Jeder Augenmuskel wird also um eine solche Halbaxe zu drehen streben.

Die Richtung der Drehungshalbaxen, vom Mittelpunkte des Auges aus gerechnet, ist demnach:

	am rechten Auge	am linken Auge
für den M. r. superior	nach innen und vorn	nach aussen und hinten
„ „ M. r. inferior	nach aussen und hinten	nach innen und vorn
„ „ M. r. externus	nach oben	nach unten
„ „ M. r. internus	nach unten	nach oben
„ „ M. obliq. superior	nach aussen und vorn	nach innen und hinten
„ „ M. obliq. inferior.	nach innen und hinten	nach aussen und vorn.

Von grosser Wichtigkeit ist es zu wissen, in welchen Winkeln die genannten Halbaxen mit der $x.$, $y.$, $z.$-Axe des im Auge festen Coordinaten-Systems in der Anfangsstellung des Auges stehen. Setzen wir daher den Winkel, welchen die Drehungshalbaxe mit der positiven $\left\{\begin{matrix} x \\ y \\ z \end{matrix}\right\}$ Axe macht, $= \left\{\begin{matrix} a \\ b \\ c \end{matrix}\right\}$, so finden wir

	a	b	c
für den R. internus	90^0	90^0	180^0
— externus	90^0	90^0	0^0
— superior	$161\frac{1}{2}^0$	$109\frac{1}{2}^0$	90^0
— inferior	19^0	71^0	90^0
Obl. superior	51^0	141^0	$84\frac{1}{2}^0$
— inferior	127^0	37^0	90^0

Das Auge, welches einen unbeweglichen Punkt, den Drehpunkt hat, kann aus seiner ursprünglichen Lage in jede andere durch Drehung um eine durch den Drehpunkt gehende und in Ruhe bleibende Axe gedreht werden.

Wird das Auge nach und nach um verschiedene durch den Drehpunkt gehende Axen gedreht, so kann die durch alle diese Drehungen zusammen bewirkte Aenderung der ursprünglichen Lage des Auges durch eine einzige Drehung um eine durch den Drehpunkt gehende Axe hervorgebracht werden, d. h., zwei oder mehrere Drehungen des Auges um mehrere Axen, die sich im Drehpunkte schneiden, lassen sich zu einer Drehung um eine durch denselben Punkt gehende Axe r zusammensetzen.

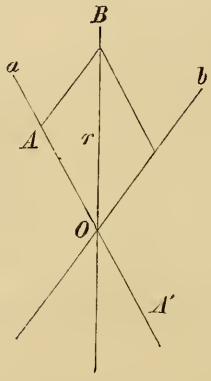
Heissen α, β, γ, ... die Winkel, um welche das Auge nach und nach um die Axen gedreht wird, und sei ϱ der Winkel für die resultirende Drehung um die Axe r. Sind nun α, β, γ,... sehr kleine Winkel, so wird auch der Winkel ϱ sehr klein sein, und man kann in diesem Falle die Zusammensetzung von zwei und damit auch von mehreren Drehungen durch eine sehr einfache Construction bewerkstelligen.

Der grösseren Deutlichkeit wegen will ich die nachstehende Bemerkung vorausschicken: Seien A und A' zwei Punkte der Axe a, welche auf verschiedenen Seiten des Punktes O, des Drehpunktes liegen, durch welchen die Axe nach dem Vorigen gehen soll. Wenn alsdann für ein nach O gebrachtes und nach A hinsehendes Auge die Drehung des Auges um a wie der Uhrzeiger von der Linken nach der Rechten gehend erscheint, so wird sie für ein Auge, das von O nach A' hinsieht, von der Rechten nach der Linken gehend erscheinen und umgekehrt.

Die Construction selbst ist nun folgende: Man trage

auf die Axe a von O aus einen Abschnitt $O\ A$, auf diejenige Seite von O, dass, indem man die Drehung nach der Rechten für die normale nimmt, einem von O nach A hinsehenden Auge die gegebene Drehung um a nach der rechten gehend erscheint. Dabei sei die Länge des Abschnittes $O\ A$ dem Drehungswinkel α proportional, ich will sagen $O\ A = 1, 2, 3$ Linien etc., wenn $\alpha = 1^0, 2^0, 3^0$ etc. ist.

Auf ganz gleiche Weise drücke man den Sinn und den Winkel β der Drehung um die Axe b durch die Richtung und die Länge eines Abschnittes auf dieser Axe aus.



Man ergänze hierauf das Dreieck $A\ O\ b$ zu einem Parallelogramm $A\ O\ b\ B$, so wird die aus der zweiten Drehung um a und b resultirende Drehung durch die Diagonale $O\ B$ desselben auf dieselbe Weise ausgedrückt. Die Axe r der resultirenden Drehung ist nämlich die unbestimmt verlängerte Linie $O\ B$; die Drehung selbst erscheint einem von O nach B sehendem Auge nach rechts gehend und beträgt so viel Grade oder Theile von Graden, als wie viel Linien oder Theile von Linien der Abschnitt $O\ B$ lang ist.

Die Länge des Abschnittes ist bei den Drehungen des Auges proportional der Verkürzung des entsprechenden Muskels. Es ist also möglich, aus der bekannten Verkürzung der einzelnen Muskeln bei gewissen Drehungen des Auges die resultirende Drehungsaxe zu finden. Ebenso wie wir nach den Gesetzen der angeführten Construction den Wirkungsbetrag der einzelnen Muskeln bei

einer bestimmten Drehung des Auges zu ermitteln im Stande sind. Das Ophthalmotrop macht solche Constructionen nun aber unnöthig, wenigstens für die praktischen Zwecke, denn an diesem lesen wir den Wirkungsbetrag der einzelnen Muskeln unmittelbar ab.

Vermöge der Lage der 6 Muskeln (Drehungsmomente), über die frei disponirt werden kann, steht von rein mechanischer Seite dem Gesetze nichts entgegen, dass die Axe des resultirenden Momentes jeder beliebige Halbmesser des Auges sein kann.

Demnach sind unendlich viele Drehungsaxen, je nach der Combination der einzelnen Muskeln, möglich. Aber nicht alle mechanischer Seits möglichen Drehungsaxen des Auges werden zu wirklichen Axen, weil nur eine gewisse Zahl bei den verschiedenen Arten des Blickes, die zum Sehen nothwendig sind, in Anwendung kommt. Diesen Satz hat G. Meissner zuerst ausgesprochen, wofür wir ihm noch dankbarer sein würden, wenn seine Abhandlung über die Bewegungen des Auges (A. v. Graefe's Archiv für Ophthalmologie, Berlin 1855. Bd. II. Abthl. I.) weniger weitschweifig und etwas klarer geschrieben wäre.

„Wenn wir, sagt Meissner, vollkommen frei über sechs Drehungsmomente (Muskeln) am Auge in seiner Ruhelage disponiren können, von denen nur je zwei in einer Ebene, diese aber in entgegengesetztem Sinne thätig sind, wenn wir dieselben in jeder möglichen Weise combiniren und gleichzeitig wirksam sein lassen, und über die Stärke eines jeden Momentes verfügen können (nur negative Werthe sind der Natur der Sache nach ausgeschlossen), so sind alle möglichen Fälle enthalten in acht Combinationen je dreier Momente (und in zwölf, je zweier

Momente), deren zugehörige Drehungsebenen nicht je zwei zusammenfallen."

Aber, ungeachtet unsere Augenmuskeln an und für sich der Willkür unterworfen sind, so gehorchen sie, wenn sie mit einander in Combination treten, doch auch noch einem anderen Gesetze, nämlich dem Gesetze der Zweckmässigkeit, welchem wir bei dem normalen Sehacte nicht ausweichen können. Dieses Gesetz der Zweckmässigkeit bezieht sich auf die Realisirung der physiologischen Anforderungen, welche beim einfachen und deutlichen Sehen mit beiden Augen in Frage kommen. Diese Anforderungen sind so dringend, dass wir durchaus nicht im Stande sind, gewisse, mechanischer Seits mögliche, Combinationen der Thätigkeit der einzelnen Muskeln willkürlich eintreten zu lassen. Intendiren wir wilkürlich eine bestimmte, dem Zwecke entsprechende Richtung des Blickes, so treten unwillkürlich diejenigen Muskeln miteinander in Combination, die zur Vollführung dieses Blickes nothwendig sind.

So giebt es z. B. nur einen Fall, in welchem blos 1 Muskel contrahirt, ein zweiter erschlafft ist, und 4 Muskeln in Ruhe bleiben. Dieser Fall begreift diejenigen Bewegungen in sich, wo die Sehaxen sich vom horizontalen Parallelismus bis auf einen Punkt einstellen, der 450^{mm} entfernt gerade vor den Augen liegt. Convergiren die Schaxen noch mehr, so treten schon der Rect. superior und endlich auch der Rect. inferior mit in Wirksamkeit.

Fälle, in welchen zwei Muskeln in Wirksamkeit treten, giebt es ebenfalls nur sehr wenige. Beim Blicke mit parallelen Sehaxen gerade nach oben und nach unten sind nur zwei Muskeln contrahirt (im ersteren Falle Rect. super. und Obliq. infer., im letzteren Falle Rect.

infer. und Obliq. super.) zwei erschlafft und zwei bleiben in Ruhe.

In den meisten übrigen Fällen sind drei Muskeln contrahirt und drei erschlafft. Jedoch kommen von den 8 mechanisch möglichen Combinationen je dreier Muskeln allenfalls nur 5 vor. Genaue Angaben hierüber werde ich unten machen, wo ich die Beobachtungen mit dem Ophthalmotrop mittheile.

Es findet also eine Beschränkung der mechanisch möglichen Drehungsaxen am Auge Statt, und zwar bildet ein Mensch durch Zusammenwirken seiner Augenmuskeln so viele Drehungsaxen, als er im Stande ist, in verschiedenen Richtungen seine Sehaxen zu bewegen, jede einzelne Augenstellung als Ausgangspunkt betrachtet.

Dabei muss die Lage, welche das Auge bei irgend einer zweiten Stellung der Sehaxe erhalten soll, eine constante, dem Sehacte entsprechende sein, welche wiederkehrt, wie oft und auf welche Weise auch die Sehaxe in jene zweite Richtung gebracht wird.

Hierbei würde es aber ein Irrthum sein, wenn man annehmen wollte, dass bei jeder ausgeführten Bewegung der Augen immer eine während der ganzen Bewegung constante Drehungsaxe vorhanden wäre und nur diejenigen Muskeln in Thätigkeit gewesen wären, deren Ansatz und Ursprung einander nach der Bewegung näher gekommen sind, als sie es vor der Bewegung waren und man kann am Ophthalmotrop leicht sehen, dass die Zugrichtung des am Ende verkürzten Muskels in vielen Fällen durch die theilweise Gegenwirkung eines anderen gewissermassen corrigirt werden muss, der vielleicht schliesslich länger geworden ist, als er vorher war.

In vielen Fällen behält zwar die Drehungsaxe für

die ganze Dauer der Drehung des Auges constant dieselbe Lage, in anderen Fällen aber ändert sich die Drehungsaxe im Auge in jedem Augenblicke der Drehung, indem die Muskeln in immer andere Combinationen treten und zwar je nach dem Bedürfnisse, damit der Zweck, nämlich das einfache und deutliche Sehen mit beiden Augen, erfüllt werde. Auch dies ist am Ophthalmotrop sehr deutlich wahrzunehmen.

Wird das Auge aus der Anfangsstellung in irgend eine zweite Lage gedreht, so muss die Drehungsaxe senkrecht zur primären und zur zweiten Richtung der Sehaxe stehen und der Weg, welchen der Endpunkt der Sehaxe von der Primärstellung aus beschreibt, ist in diesen Fällen ein grösster Kreis.

Ist irgend eine zweite Lage des Auges (Secundärstellung) der Ausgangspunkt der Drehungen, so steht die Drehungsaxe nur dann senkrecht zur Sehaxe, wenn es sich darum handelt, entweder das Auge in die Primärstellung zurück, oder in irgend eine demselben grössten Kreise angehörige Richtung der Sehaxe zu führen, welcher der Weg für den Endpunkt der Sehaxe in jene zweite Lage aus der Primärstellung war. In allen übrigen Fällen steht die Drehungsaxe nicht senkrecht zur Sehaxe und der Endpunkt derselben beschreibt nur Segmente kleiner Kreise. Die Winkel aber, welche die Drehungsaxe von einer Secundärstellung in eine andere Secundärstellung mit der Sehaxe machen, weichen nicht beträchtlich von einem rechten Winkel ab.

Dies sind Resultate, welche Meissner aus dem von Listing (vide meine Ophthalmologie 2. Auflage, Bd. I. S. 37) zuerst aufgestellten Gesetze abgeleitet hat. Dieses Gesetz lautet:

„Aus der oben angegebenen normalen Stellung (Anfangsstellung, Primärstellung) des Auges wird das Auge in irgend eine andere, secundäre, durch die Cooperation der sechs Muskeln in der Weise versetzt, dass man sich diese Versetzung als das Resultat einer Drehung um eine bestimmte Drehungsaxe vorstellen kann, welche jederzeit, durch das Augencentrum gehend, auf der primären und der secundären Richtung der optischen Axe zugleich senkrecht steht, so dass also jede secundäre Stellung des Auges zur primären in der Relation steht, vermöge welcher die auf die optische Axe projicirte Drehung $= o$ wird.

Diesem Princip zufolge lässt sich aus der bekannten Lage der drei auf je zwei antagonistische Muskeln bezüglichen Drehungsaxen für jede gegebene Secundärstellung des Auges der Wirkungsbetrag jedes Muskels, d. i. die Grösse seiner Verkürzung durch Rechnung bestimmen.

Unter den vielfachen Consequenzen dieses Princips verdient die hervorgehoben zu werden, dass nämlich das Auge beim Uebergange aus einer secundären Stellung in eine andere eine ihrer Grösse nach bestimmbare Drehung um seine optische Axe erfährt, welche nur in dem besonderen Falle Null ist, wenn die drei Richtungen der optischen Axe in der primären und in den beiden secundären Stellungen in einer Ebene liegen.“

Uebrigens darf man nicht glauben, dass das Princip der Drehung in der Beibehaltung derselben Lage der Drehungsaxe während der ganzen Dauer der Drehung liege, sondern es liegt in der richtigen Orientirung beider Augen, so dass am Ende der Drehung die identischen Stellen beider Netzhäute den entsprechenden Punkten des

Objectes zugewandt sind, d. h. dass wir das Object einfach und deutlich sehen.

Die Beobachtung an fremden und eignen Augen lehrt uns, dass die Sehaxe aus der primären in eine secundäre oder aus einer secundären in eine tertiäre Stellung auf sehr verschiedenen Wegen geführt werden kann, und zwar sehr selten auf geradem Wege, fast immer in Zickzacken oder in Wellenlinien; und doch sind die Augen am Ende der Drehung bei gesunden Menschen stets richtig orientirt. Dies ist die Folge der Uebung und Gewöhnung, die dadurch erlangt wird, dass wir eine Desorientirung wegen der grössten Empfindlichkeit der optischen Mittelpunkte und der Identität der entsprechenden Netzhautpunkte beider Augen sogleich an der undeutlichen und doppelten Wahrnehmung des Objectes der Aufmerksamkeit merken. Diese lernen wir um so leichter vermeiden, je geübter unser Blick bereits geworden ist.

Die Mannigfaltigkeit der Wege, welche die Sehaxe beim Uebergange aus einer Stellung in eine andere verfolgt, so wie die zickzackige und wellenförmige Bewegung der Sehaxe bei diesem Uebergange wird uns am deutlichsten, wenn wir Abends eine entfernte hellleuchtende Laterne betrachten und den Weg der Nachbilder, den diese in entgegengetzter Richtung mit der Bewegung der Augen machen, brachten. Wir können dann deutlich wahrnehmen, dass die Augen selten denselben Weg, wenn sie von der Laterne auf einen anderen Gegenstand wiederholt blicken, beibehalten und dass sie sich dabei, wenn wir uns nicht ganz bestimmt dagegen stämmen, in Zickzacken und Wellen ergehen. Und doch sind sie stets am Ende der Drehung vollkommen orientirt.

Von einer constanten Drehungsaxe, während der

Dauer der Drehung kann also in der Regel nicht die Rede sein. Wir brauchen deshalb auch bei den Bewegungen mit den Augen des Ophthalmotrops auf eine bestimmte Drehungsaxe nicht zu achten, wenn wir nur dafür sorgen, dass am Ende der Bewegung die Augen dem Objecte gegenüber in derselben Art orientirt sind, wie es unter denselben Umständen die menschlichen Augen sein würden.

Beobachtungen mit dem Ophthalmotrop, betreffend die Function der Augenmuskeln.

Die Beobachtungen haben als allgemeinstes Resultat ergeben, dass die Verkürzung eines Augenmuskels proportional der Bewegungsamplitude ist, welche die Sehaxe nach der Seite hin beschreibt, an der der sich contrahirende Muskel liegt: z. B.

A., wird die Sehaxe aus der Anfangsstellung, also aus der Stellung, in welcher sie normal zur Facialebene steht, horizontal nach innen bewegt,

1., um $2\frac{1}{2}^0$, so beträgt die Verkürzung des Musculus rectus internus, am menschlichen Auge etwa $\frac{1}{2}^{mm}$, ebensoviel die Verlängerung des Musculus rectus externus, während die Musculi rectus superior, rectus inferior und die obliqui in Ruhe verharren;

2., um 5^0, so beträgt die Verkürzung des Musculus rectus internus 1^{mm}, ebensoviel die Verlängerung des Musculus rectus externus, während die vier übrigen Muskeln in Ruhe verharren;

3., um 10^0, so beträgt die Verkürzung des Musculus rectus internus 2^{mm}, ebensoviel die Verlängerung des Musculus rectus externus, während die vier übrigen Muskeln in Ruhe harren;

4., um 20°, so beträgt die Verkürzung des Musculus rectus internus 4^{mm}, ebensoviel die Verlängerung des Musculus rectus externus, dabei ist aber gleichzeitig der Musculus rectus superior um ¼^{mm}, der inferior um 1^{mm}, der Obliquus inferior um 1^{mm} verkürzt dagegen der Obliquus superior um ⅝^{mm} verlängert.

B. Wird die Sehaxe aus der Anfangsstellung gerade nach oben bewegt;

1., um 10°, so beträgt die Verkürzung des Musculus rectus superior 2½^{mm}, ebensoviel die Verlängerung des Musculus rectus inferior, die Verkürzung des Musculus Obliquus inferior 1½^{mm}, die Verlängerung des Obliquus superior 2^{mm}, während die beiden anderen Muskeln in Ruhe bleiben;

2., um 20°, so beträgt die Verkürzung des Musculus rectus superior 5^{mm}, ebensoviel die Verlängerung des Musculus rectus inferior, die Verkürzung des Obliquus inferior 3^{mm}, die Verlängerung des Obliquus superior 4^{mm}, während Musculus rectus externus und internus in Ruhe bleiben;

3., um 30°, so beträgt die Verkürzung des Musculus rectus superior 7½^{mm}, ebensoviel die Verlängerung des Musculus rectus inferior, die Verkürzung des Musculus obliquus inferior 4½^{mm}, die Verlängerung des Obliquus superior 6^{mm}, während Musculus rectus externus und internus in Ruhe bleiben.

C. Wird die Sehaxe aus der Anfangsstellung gerade nach unten bewegt, so ergiebt sich hier eine ganz ähnliche Zahlenreihe, nur mit dem Unterschiede, dass der

Obliquus superior, dabei der verkürzte und der Obliquus inferior der verlängerte Muskel ist.

D. Wird die Sehaxe aus der Anfangsstellung nach oben und rechts auf einen Visirpunkt von 1800^{mm} Entfernung gedreht und zwar mit einem Azimuth von + 25°, und mit einer Höhe von + 25°, so beträgt die Raddrehung, d. h. die Neigung der yz-Ebene (des verticalen Meridians) + 10°, nämlich nach rechts 10°.

Hierbei sind

1., am rechten Auge verkürzt, der Musculus rectus externus um 5¼^{mm}, der Musculus rectus superior um 5½^{mm}, der Musculus Obliquus inferior um 8½^{mm}; verlängert sind dagegen der Musculus rectus inferior um 5¼^{mm}, der Musculus rectus internus um 5^{mm}, der Musculus obliquus superior um 2¼^{mm}.

2., am linken Auge verkürzt, der Musculus rectus superior nm 5^{mm}, der Musculus rectus internus um 5⅔^{mm}, der Musculus obliquus inferior um 3½^{mm}; verlängert dagegen sind der Musculus rectus externus um 5½^{mm}, der Musculus rectus inferior um 3½^{mm}, der Musculus obliquus superior um 8½^{mm}.

E. Wird die Sehaxe nach oben und links unter denselben Verhältnissen wie bei D gedreht, so beträgt die Raddrehung — 10°, und die Muskeln verhalten sich hier

1., am rechten Auge, wie bei D am linken Auge;

2., am linken Auge, wie bei D am rechten Auge.

F. Wird die Sehaxe nach unten und rechts gedreht, und zwar mit einem Azimuth von + 25° und mit einer Höhe von — 15°, so beträgt die Raddrehung — 8°.

Hierbei sind

1., am rechten Auge verkürzt, der Musculus rectus

externus um 6^{mm}, der Musculus rectus inferior um $4\frac{1}{4}^{mm}$, der Musculus obliquus superior um $3\frac{1}{4}^{mm}$; verlängert dagegen sind, der Musculus rectus superior um 4^{mm}, der Musculus rectus internus um $5\frac{2}{3}^{mm}$, der Musculus obliquus inferior um $1\frac{1}{2}^{mm}$.

2., am linken Auge verkürzt, der Musculus rectus inferior um $3\frac{3}{4}^{mm}$, der Musculus rectus internus um $7\frac{1}{2}^{mm}$, der Musculus obliquus superior um 2^{mm}, verlängert dagegen sind der Musculus rectus externus um $6\frac{2}{3}^{mm}$, der Musculus rectus superior um 3^{mm}, der Musculus obliquus inferior um $1\frac{1}{2}^{mm}$.

G. Wird die Sehaxe nach unten und links gedreht, und zwar mit einem Azimuth von — 25° und einer Höhe von — 15°, so beträgt die Raddrehung + 8°.

Hierbei verhalten sich die Muskeln

1., am rechten Auge, wie am linken Auge bei F und

2., am linken Auge, wie am rechten Auge bei F.

H. Wird die Sehaxe nach oben und innen gedreht und zwar in einer Höhe von + 25°, so findet hierbei keine Raddrehung Statt.

Hierbei sind

an beiden Augen verkürzt, der Musculus rectus superior um $5\frac{1}{2}^{mm}$, Musculus rectus internus um $1\frac{1}{4}^{mm}$, Musculus obliquus inferior um $3\frac{1}{4}^{mm}$; verlängert der Musculus rectus externus um $\frac{1}{2}^{mm}$, Musculus rectus inferior um $4\frac{1}{4}^{mm}$, Musculus obliquus superior um 4^{mm}.

I. Wird die Sehaxe nach oben und innen gedreht und zwar in einer Höhe von + 15°, so findet hierbei auch keine Raddrehung Statt.

Hierbei sind

an beiden Augen verkürzt der Musculus rectus

superior um $2\frac{2}{3}^{mm}$, Musculus rectus internus um 1^{mm}, Musculus obliquus inferior um 2^{mm}; verlängert der Musculus rectus externus um $\frac{1}{2}^{mm}$, Musculus rectus inferior um $2\frac{1}{2}^{mm}$, Musculus obliquus superior um 2^{mm}.

K. Wird die Sehaxe nach unten und innen gedreht und zwar in einer Höhe von — 25°, so findet auch keine Raddrehung Statt.

Hierbei sind

an beiden Augen verkürzt, der Musculus rectus inferior um 5^{mm}, Musculus rectus internus um $1\frac{2}{3}^{mm}$, Musculus obliquus superior um 3^{mm}; verlängert der Musculus rectus externus um $\frac{1}{2}^{mm}$, Musculus rectus superior um 5^{mm}, Musculus obliquus inferior um $4\frac{1}{4}^{mm}$.

L. Wird die Sehaxe nach unten und innen gedreht und zwar in einer Höhe von — 15°, so findet auch keine Raddrehung Statt.

Hierbei sind

an beiden Augen verkürzt, der Musculus rectus inferior um $3\frac{1}{4}^{mm}$, Musculus rectus internus um $1\frac{1}{4}^{mm}$, Musculus obliquus superior um 2^{mm}; verlängert der Musculus rectus externus um $\frac{1}{2}^{mm}$, Musculus rectus superior um $2\frac{2}{3}^{mm}$, Musculus obliquus inferior um $2\frac{1}{4}^{mm}$.

M. Bei der Drehung des Auges um die feste, horizontale optische Axe um 45°, so dass der obere Theil des Bulbus nach innen kommt, sind

an beiden Augen verkürzt der Musculus rectus externus um 1^{mm}, Musculus rectus superior um $2\frac{2}{3}^{mm}$, Musculus obliquus superior um $4\frac{1}{2}^{mm}$; verlängert der Musculus rectus inferior um $2\frac{2}{3}^{mm}$,

Musculus rectus internus um 1^{mm}, Musculus obliquus inferior um 5^{mm}.

N. Bei der Drehung des Auges um die feste, horizontale optische Axe um 45^0, so das der obere Theil des Bulbus nach aussen kommt, sind

an beiden Augen verkürzt, der Musculus rectus superior um $2\frac{2}{3}^{mm}$, Musculus rectus inferior um $2\frac{1}{2}^{mm}$, Musculus obliquus inferior um $5\frac{1}{2}^{mm}$; verlängert, der Musculus rectus externus um 1^{mm}, Musculus rectus internus um $1\frac{1}{3}^{mm}$, Musculus obliquus superior um $5\frac{1}{2}^{mm}$.

Bestimmung des Antheiles der einzelnen Augenmuskeln am Schielen.

Eine genaue Bestimmung des Antheils der einzelnen Muskeln an den verschiedenen Stellungen des Auges ist aber nicht blos zur Erläuterung der normalen Functionen nothwendig, sondern auch ganz besonders zur Ermittelung des Grades der Verkürzung der einzelnen Muskeln bei abnormer Stellung der Sehaxen, beim Schielen; denn hierbei reicht es zum Zweck einer gründlichen Heilung durch die Operation nicht hin, allein zu bestimmen, welche Muskeln ein widernatürliches Uebergewicht haben, sondern es muss auch noch der Grad der Verkürzung der einzelnen Muskeln erforscht werden. Die Muskeln müssen nämlich, je nachdem sie einen grösseren oder geringeren Antheil an der abnormen Stellung der Sehaxen nehmen, weiter nach hinten, oder nach vorn, ein Mehr oder Weniger vom Bulbus gelöst werden. Zu diesem Zwecke misst man beim Schielen zuerst den Grad der Abweichung der Sehaxen von der normalen Richtung beim Fixiren eines Objectes in verschiedenen Entfernungen. Dies verrichtet

man am besten nach folgender einfachen Methode: Man nehme ein etwa 5 Zoll breites, 3—4 Fuss langes Brett, an dessen einem Ende sich in der Mitte ein Ausschnitt für die Nase befindet. Von der Mitte dieses Ausschnittes sei nach der ganzen Länge des Brettes eine dasselbe der Länge nach halbirende Linie gezogen. Mit dieser Linie parallel ziehe man auf jeder Seite derselben eine andere Linie, und zwar auf jeder Seite von der Mittellinie 32 Millimeter entfernt, so dass auf diese Weise die beiden zuletzt gezogenen Linien dem Parallelismus der Sehaxen entsprechen, wenn die letzteren rechtwinkelig zur Facialebene gestellt sind. Das so eingerichtete Brett lege man auf ein Stativ, welches man so hoch schraubt, dass die Oberfläche des Brettes mit dem unteren Rande der Pupille des Kranken in gleicher Höhe steht; der Kranke sitze dabei gerade und aufrecht und schiebe seine Nase in den Ausschnitt des Brettes. Darauf stecke man auf die in der Mitte zwischen beiden Augen liegende Linie des Brettes eine Stecknadel so weit entfernt, dass der zu Untersuchende sie einfach und deutlich sieht. Bei einem gesunden Menschen werden sich dabei beide Sehaxen in einem Punkte der Nadel schneiden, wenn man über die Nadel weg nach der Mitte der Pupille beide Augen nach einander visirt. Noch deutlicher erscheint dies, wenn man gerade vor die Mitte einer jeden Pupille einen feinen Stift, an dem ein feiner Faden befestigt ist, in das Brett sticht und nun die Fäden in der Richtung der optischen Axe eines jeden Auges anzieht. Bei einem Schielenden werden sich die Sehaxen nicht auf einem Punkte der Nadel kreuzen, sondern es wird bei einem convergirend Schielenden die Sehaxe des schielenden Auges die Mittellinie vor dem Objecte schneiden, und zwar um so näher dem

Auge, je bedeutender der Grad des Schielens ist. Ein Mensch, der bald mit dem einen, bald mit dem anderen Auge convergirend schielt, fixirt willkührlich, oder unwillkührlich, bald mit dem einen, bald mit dem anderen Auge die Nadel, während die Sehaxe des nicht fixirenden Auges, je nachdem es stärker, oder schwächer schielt, die Mittellinie des Brettes näher, oder entfernter von den Augen vor der Nadel schneidet. Die Grösse des Winkels, den die Sehaxe des schielenden Auges mit der Mittellinie des Brettes bildet und der mit einem Winkelmesser bestimmt werden kann, zeigt uns den Grad der Abweichung der Sehaxe des schielenden Auges von der normalen Stellung, wenn das normal blickende Auge ein Object in einer bestimmten Entfernung fixirt. Die Grösse des genannten Winkels liefert uns auch gleich das Maass der Abweichung des schielenden Auges vom Parallelismus. Bei einem geringeren, oder grösseren Grade des durch ein krankhaftes Uebergewicht des äusseren geraden Augenmuskels bedingten Strabismus externus schneidet die Sehaxe des schielenden Auges die Mittellinie entweder näher oder weiter entfernt hinter der vom gesunden Auge fixirten Nadel, oder die Sehaxen stehen parallel, oder gar divergent. In allen diesen Fällen kann man bei der angegebenen Untersuchungsmethode den Winkel, den die nach vorn verlängert gedachten Augenaxen hinter dem Objecte der Fixation bilden, oder auch den Grad der Divergenz durch einen Transporteur auf dem Brette messen.

Entsprechend den beim Schielen gefundenen Winkeln richtet man die optischen Axen der Augen des Ophthalmotrops und liest dann hinten den Antheil der einzelnen Muskeln bei den entsprechenden abnormen Stellungen ab. Um den Sehaxen der Augen des Ophthalmo-

trops die entsprechende schielende Stellung zu geben, benutzt man am besten einen transparenten Transporteur, der von einer dünnen Hornplatte gefertigt ist. Diesen hält man so auf die vorher parallel gestellten künstlichen Augäpfel, dass seine Mittellinie mit der $y\,z$-Ebene des Augapfels zusammenfällt, und darauf gibt man, indem man von oben durch den Transporteur auf die $y\,z$-Ebene visirt, der letzteren die entsprechende Winkelabweichung nach innen, oder nach aussen. Diese Methode liefert, wenn auch nicht ganz genaue, doch ziemlich brauchbare und leicht ausführbare Messungen. Die abnormen Abweichungen der Augen nach oben und unten lassen sich auf die angegebene Weise nicht ermitteln, auch kenne ich keine zu diesem Zwecke brauchbare, einigermassen exacte Methode. Hier muss man also die Augen des Ophthalmotrops ungefähr nach dem Augenmaass richten.

Noch schwieriger ist die Bestimmung des Grades der Abweichung des verticalen Meridians von dem ursprünglichen Vertikalismus beim sogenannten Radschielen, wenn der Bulbus bei der Lähmung oder Contractur eines der schiefen Augenmuskeln abnorm um die optische Axe gedreht ist. Vielleicht wäre aber bei intelligenten Kranken dadurch eine Messung möglich, dass man die Doppelbilder, zum Beispiel eines vertikalen, weissen Stabes auf einen grossen Transporteur projiciren liesse, wobei dann der Kranke selber sagen könnte, auf welchen Gradstrich des Transporteurs das schiefgestellte Bild des kranken Auges fiele.

Kommt es aber bloss auf eine Versinnlichung der Erscheinungen bei der abnormen Function eines der schiefen Augenmuskeln an, so ist dies bei der gehörigen Handhabung des Ophthalmotrops sehr leicht. Bedenkt man

hierbei, dass Contractur des Obliquus superior und Lähmung des Obliquus inferior, ebenso Lähmung des Obliquus superior und Contractur des Obliquus inferior ganz ähnliche Symptome haben, so braucht man nur bei der Contractur des Obliquus superior, oder der Lähmung des Obliquus inferior, das Auge so um die optische Axe zu drehen, dass die $y\ z$-Ebene, d. h. der verticale Meridian mit der oberen Hälfte nach innen geneigt wird, und dann, unter Beibehaltung dieser geneigten Lage des verticalen Meridians, der Sehaxe verschiedene Richtungen zu geben, wobei man dann sehen kann, wie sich die übrigen Muskeln bei den verschiedenen Bewegungen der Sehaxe combiniren, wenn der Obliquus superior entweder absolut, oder relativ zu stark wirkt. Bei der Lähmung des Obliquus superior, oder der Contractur des Obliquus inferior wird man dagegen den verticalen Meridian mit seiner oberen Hälfte eine nach aussen geneigte Richtung geben müssen, bevor man verschiedene Bewegungen mit der Sehaxe macht. Dass in allen diesen Fällen Doppelsehen auch selbst dann vorhanden sein muss, wenn die Sehaxen sich auf einem Punkte des Objectes schneiden, ist bekannt genug, indem eine wesentliche Bedingung des Einfachsehens mit beiden Augen auch die ist, dass die gleichnamigen Meridiane beider Augen parallel bleiben. Bei der Contractur des Obliquus superior und der Lähmung des Obliquus inferior, wobei der vertikale Meridian mit seiner oberen Hälfte nach innen geneigt ist, muss daher Doppelsehen stattfinden, und zwar so, dass das Doppelbild mit seiner oberen Hälfte nach Aussen geneigt zu sein scheint. Der Grund dieser schiefen Stellung des Doppelbildes ist bekannt und in meinem Lehrbuche der Ophthalmologie schon vor Jahren entwickelt. Umgekehrt

wird die Neigung des Doppelbildes erscheinen, bei der Lähmung des Obliquus superior und der Contractur des Obliquus inferior. Auch diese Verhältnisse kann man sich am Ophthalmotrop versinnlichen, wenn man vor dasselbe einen weissen Stab, oder ein anderes schmales Object vertikal aufstellt und die Lage des Bildes dieses letzteren auf der künstlichen Retina der Augen betrachtet.

Optische Erscheinungen, die durch das Ophthalmotrop erläutert werden.

1) Einfachsehen mit beiden Augen.

Soll ein mit beiden Augen gesehenes Object einfach erscheinen, so müssen die Lichtstrahlen, welche von demselben in das Auge fallen, solche Stellen beider Netzhäute treffen, welche die Eigenschaft haben, zugleich afficirt, nur ein einfaches Bild der Seele vorzuhalten, welche also, wie man sich ausdrückt, identisch sind. Soll dies geschehen, so müssen nicht nur die Sehaxen in einem Punkte des Objectes, welches sich in einer, dem Accommodationsvermögen entsprechenden Entfernung befindet, sich schneiden, sondern es muss auch der Parallelismus der gleichnamigen Meridiane beider Augen aufrecht erhalten werden, und das Object rechtwinkelig zur Visirebene stehen. Will man auch dies sich durch das Ophthalmotrop versinnlichen, so hefte man auf eine schwarze Tafel 2 schmale, weisse Papierstreifen, in Form eines aufrecht stehenden Kreuzes und setze das Ophthalmotrop in einer Entfernung von 4—6 Fuss von der Tafel auf ein Stativ, welches man, je nach dem Bedürfnisse, höher oder niedriger stellen kann. Darauf richte man die optische Axe beider Augen des Ophthalmotrops, deren Re-

fraetionsvermögen man vorher genau für die Entfernung des Kreuzes eingeriehtet hat, auf den Mittelpunkt des Kreuzes. Steht der Mittelpunkt beider Augen des Ophthalmotrops hierbei in gleicher Höhe mit dem Mittelpunkte des Kreuzes, so sieht man letzteres in umgekehrter Ordnung, aber so wohl vertikal, als horizontal orientirt, d. h. die entsprechenden Theile des Kreuzes auf den identisehen Stellen beider Netzhäute. Stellt man dann aber das Stativ höher, oder niedriger, als das Kreuz, so dass man die optischen Axen des Ophthalmotrops nach oben, oder naeh unten, um sie auf den Mittelpunkt des Kreuzes zu richten, wenden muss, oder stellt man das Stativ so, dass das Kreuz nach oben und reehts, oder naeh oben und links, oder nach unten und reehts, oder nach unten und links vom Ophthalmotrop zu stehen kommt, und richtet man dann die optisehen Axen auf den Mittelpunkt des Kreuzes, so wird man die Unmöglichkeit einsehen, das Kreuz gleiehzeitig, sowohl horizontal, als vertikal zu orientiren, wenn man das Kreuz nicht stets rechtwinkelig zur Visirebene beider Augen stellt.

Ist das letztere nieht der Fall, so wird man immer bloss im Stande sein, entweder nur die vertikalen, oder nur die horizontalen Sehenkel des Kreuzes auf identisehe Stellen beider Netzhäute zu bringen. Auf diese Weise wird es also bewiesen, dass man unter den zuletzt genannten Umständen immer nur einzelne Theile, auch selbst soleher Körper, welehe nur in 2 Dimensionen erscheinen, einfaeh und deutlich sieht. Noeh viel sehwieriger, als die Orientirung der Objecte von zwei Dimensionen, ist die Orientirung der Objecte von 3 Dimensionen. Richtet man die beiden Augen des Ophthalmotrops auf eine Stelle eines weissen Objectes, am besten auf eine weisse Por-

cellanvase, so stellt sich in beiden Augen das Bild derselben verschieden dar, indem das eine Auge einen anderen Gesichtskreis hat, als das andere. Es ist demnach unmöglich, das Bild eines Objectes von 3 Dimensionen durch eine bestimmte geometrische Stellung der Augen vollständig auf identische Stellen beider Netzhäute zu bringen. Hieraus, wie aus den Erscheinungen am Stereoscop geht evident hervor, dass man beim Anschauen eines körperlichen Objectes zur Zeit stets nur wenige Punkte desselben, nämlich die, auf welchen die optischen Axen sich kreuzen, einfach sieht, und dass zur Erlangung eines einfachen Eindruckes eines Körpers eine Fortbewegung der Augenkreuzung in verschiedenen Distancen nothwendig ist. Der bleibende Eindruck des Körpers in allen Dimensionen geht demnach daraus hervor, dass die Sehweite und Axenkreuzung beider Augen in einem fortwährenden Schwanken zwischen dem Horopter für den entferntesten und dem für den nächsten Punkt des Objectes bleiben, nachdem sie einmal alle Veränderungen durchlaufen haben, die nöthig sind, damit alle sichtbaren Punkte des Körpers in den Horopter fallen. Einzelne Punkte des Körpers werden dabei aber dennoch immer nur von einem Auge wahrgenommen werden können.

2) Aufrechtsehen und Scheiner'scher Versuch.

Durch sammelnde dioptrische Medien erhält man hinter den Sammellinsen verkehrte Bilder der Objecte. Sind die Objecte weiter von den sammelnden, brechenden Medien entfernt, als die doppelte Brennweite derselben, so liegt das Bild in geringerer Entfernung hinter denselben und ist kleiner, als das Object. Auf diese Weise verhält es sich mit dem Auge; daher entwirft ein Gegenstand

mit räumlicher Ausdehnung, der Lichtstrahlen in's Auge schickt, auf der Retina ein umgekehrtes verkleinertes Bild; was am Object oben ist, erscheint auf der Retina unten, was rechts ist, erscheint links u. s. w. Ein Blick in das Ophthalmotrop, dessen Augen dem menschlichen Auge nachgebildet sind, überzeugt uns auf der Stelle von dem oben Gesagten. Dass wir dennoch die Objecte in einer der Wirklichkeit entsprechenden Richtung, d. h., an dem Orte, wo sie sind, also das Obere oben, das Untere unten, das Rechte rechts, das Linke links sehen, hängt davon ab, dass wir die Affectionen der einzelnen Netzhautstellen in der Form von Gesichtsvorstellungen, die den Objectpunkten entsprechen, nach Aussen projiciren, und zwar in der Richtungslinie der afficirten Netzhautstellen.

Alle Gesichtsvorstellungen sind, wie die Zustände aller anderen Sinne, das Resultat einer Wechselwirkung äusserer Eindrücke und innerer Energien. Als äussere Eindrücke bezeichne ich alle die Agentien, welche auf die Nerven wirken, mögen sie innerhalb, oder ausserhalb des Organismus liegen. Die inneren Energien beziehen sich nur auf den nervösen Apparat, und sie bestehen in Beziehung auf den Gesichtssinn darin, dass er fähig ist, äussere Eindrücke zu empfinden, die dadurch veranlassten Veränderungen zum Sensorium fortzuleiten und in der Form einer Gesichtsvorstellung wieder nach aussen zu projiciren. Hierbei leiten die Sehnerven nicht den Reiz selbst, die Empfindungsursache, z. B. das Licht, zum Gehirn, sondern sie pflanzen nur einen in ihnen selbst durch das Licht bewirkten Zustand fort. Die Zustände, welche von der Retina den Empfindungsnerven mitgetheilt werden, sind als solche noch keine Gesichts-

vorstellungen, sondern sie werden es erst durch ihre Fortpflanzung zum Gehirn. Im Gehirn wird erst die selbstbewusste Empfindung geschaffen, und vom Gehirn aus nach dem Gesetze der excentrischen Erscheinung nach aussen projicirt. Die Projection der Gesichtsvorstellungen nach Aussen scheint, ebenso wie die Bildung derselben, wenigstens vorzüglich von der Gehirnthätigkeit auszugehen; denn es werden bei Unthätigkeit oder gänzlicher Zerstörung der Retina und der Sehnerven nicht blos noch Gesichtsvorstellungen geschaffen, sondern auch noch nach Aussen projicirt, gleichwie nach Amputation der Glieder dem Menschen die Empfindung bleibt, als wären dieselben noch vorhanden. Wird der Sehnerv vom Gehirn getrennt, so findet keine Leitung zum Gehirn mehr statt, es kommt dann nicht mehr zu einer bewussten Empfindung der durch das Licht veranlassten Zustände. Aber bei der Projection der Gesichtsvorstellungen nach Aussen scheint sich die Retina auch nicht ganz unthätig zu verhalten, weil dieselbe von einer und derselben Netzhautstelle stets in derselben Richtung, und zwar in der der Sehlinie (welche für denselben Netzhautpunkt unter allen Verhältnissen stets dieselbe bleibt) nach Aussen erfolgt, mag die Stelle in einer Richtung afficirt sein, in welcher sie wolle. Die Projection nach Aussen geht demnach ursprünglich vom Gehirn aus, ihre Richtung scheint aber mit von der Retina bedingt zu werden.

Die Richtung, in welcher uns die Gesichtsphänomene zur bewussten Anschauung kommen, hängt weder ab von der Richtung, in welcher die Lichtstrahlen, oder ein anderer Reiz die Retina treffen, oder in sie eindringen, noch von der zum Bewusstsein kommenden Function der Augenmuskeln, noch von der Beihülfe des Tastsinnes, sondern

von der angebornen Eigenschaft der kleinsten Theile der Retina, die in ihnen vorgehenden, unter der Form von Gesichtsphänomenen zum Bewusstsein kommenden Veränderungen stets in der Sehlinie nach Aussen zu versetzen, mag der Lichtstrahl, oder Reiz sie in was immer für einer Richtung treffen. Dies ist eine empirisch zu erweisende Thatsache, die durch die Erscheinungen, welche beim Scheiner'schen Versuche, sowohl am Ophthalmotrop, als am lebendigen Auge sich zeigen, erläutert wird.

Sticht man in ein Kartenblatt zwei Löchelchen näher an einander, als die Pupille im Durchmesser beträgt, und sieht man durch diese Löchelchen gegen den hellen Himmel, so bemerkt man zwei lichte Kreise, welche theilweise sich decken und da, wo sie sich decken, eine lichtere Stelle bedingen, als da, wo sie sich nicht decken. Betrachtet man ein Object, am besten eine Nadel, durch die Kartenlöcher so, dass sein Bild in der lichteren Stelle der Lichtkreise schwebt, so erscheint es in der Entfernung des deutlichen Sehens einfach, bei grösserer Nähe, oder grösserer Entfernung dagegen doppelt. Die Entstehung der Doppelbilder hängt damit zusammen, dass die Lichtstrahlen in der Entfernung des deutlichen Sehens auf der Retina sich vereinigen, während sie, wenn sie von zu nahen Objecten kommen, sich hinter der Retina, und wenn sie von zu fernen Objecten kommen, vor der Retina vereinigen und auf diese Weise Zerstreuungskreise auf die Retina werfen, welche als distincte, aber blasse Bilder erscheinen, denn die Löchelchen sind so klein, dass durch sie die übrigen Zerstreuungskreise abgehalten werden.

Wird ein zu naher Gegenstand betrachtet, so verschwindet beim Zuhalten eines Loches im Kartenblatte

das Doppelbild der entgegengesetzten Seite und beim Betrachten eines zu fernen Gegenstandes das derselben Seite.

Die Erscheinungen des eben genannten Versuches liefern uns den empirischen Beweis für die oben erörterte Behauptung, dass die Richtung, in welcher uns die Gesichtsphänomene zur bewussten Anschauung kommen, einzig und allein abhängen von der angeborenen Eigenschaft der kleinsten Theile der Retina, die in ihnen vorgehenden, unter der Form von Gesichtsphänomenen zum Bewusstsein kommenden Veränderungen stets in der Richtung der Sehlinien nach Aussen zu versetzen. Denn, wenn das Doppelbild der entgegengesetzten Seite beim Betrachten eines zu nahen Gegenstandes und beim Zuhalten eines Loches im Kartenblatte zu verschwinden scheint, so verschwindet eigentlich auf der Retina das Bild derselben Seite; dagegen verschwindet eigentlich das Bild der Retina auf der entgegengesetzten Seite, wenn beim Betrachten eines zu fernen Gegenstandes und beim Zuhalten eines Loches im Kartenblatte das Bild derselben Seite zu verschwinden scheint. Dies wird am einfachsten durch das Ophthalmotrop bewiesen. Man accommodire ein künstliches Auge desselben für eine bestimmte Entfernung und halte nahe vor die Pupille das Kartenblatt mit den beiden Löchelchen, so werden zwei distincte Lichtbilder im Ophthalmotrop erscheinen, wenn man ein Licht zwischen dem Ophthalmotrop und dem Punkte, für welchen dasselbe accommodirt ist, aufstellt. Hält man jetzt das eine Loch des Kartenblattes zu, so verschwindet das Lichtbild derselben Seite, während dem natürlichen Auge hierbei das Lichtbild der entgegengesetzten Seite zu verschwinden scheinen würde, weil das Lichtbild derselben Seite in der Richtung der Sehlinie

nach Aussen projicirt wird. Umgekehrt verhält es sich, wenn man dasselbe Experiment mit dem Ophthalmotrop bei zu grosser Entfernung des Lichtes anstellt.

3) Doppel- und Vielfachsehen mit einem Auge.

Mit den Erscheinungen des eben erwähnten Scheiner'schen Versuches können wir das Doppel- und Vielfachsehen mit einem Auge auf eine passende Weise zusammenstellen, welches häufig von Kranken beobachtet wird, die an einer partiellen façettirten Verdunkelung der Cornea oder der Linse, oder ihrer Kapsel leiden; solche Kranke sehen häufig ein Licht oder einen anderen glänzenden Gegenstand, z. B. den Mond, doppelt, oder vielfach, meistens mit einer verschobenen, unregelmässigen Form der Doppelbilder der Objecte. Die Zusammenstellung dieser Diplopia und Polyopia monocularis mit dem Scheiner'schen Versuche ist um so passender, weil das Doppelsehen verschwindet, wenn es gelingt, die Trübungen zu beseitigen und die durch sie gestörten Thätigkeiten der Accommodation des Auges wieder herzustellen, und weil auch die Doppelbilder ganz wie beim Scheiner'schen Versuche, je nachdem das Refractionsvermögen des Auges für einen näheren oder ferneren Gegenstand passt, von der entgegengesetzten Seite oder von derselben Seite verschwinden, wenn man die Hälfte der Cornea oder der Pupille mit einem Kartenblatte zudeckt. Am häufigsten bedingen beginnende Verdunkelungen der Linse und der Linsenkapsel das Doppel- und Vielfachsehen; dieses verliert sich natürlich bei weiterer Ausbildung des grauen Staares, kehrt aber nach der glücklichen Operation desselben nicht zurück, was doch der Fall sein müsste, wenn die Ursache des Doppel- und Vielfachsehens im Glaskörper (in einer doppel-

ten Brechung desselben), oder gar, wie Einige gemeint haben, in der Retina ihren Sitz hätte.

Zum Beweise, dass die Vervielfältigung der Bilder hier auf dieselbe Weise, wie es beim Scheiner'schen Versuche geschieht, veranlasst werde, dient mir das Verschwinden der Doppelbilder von einer Seite und zwar meistens derselben Seite, wenn man die Pupille des Kranken zur Hälfte mit einem Karkenblatte zudeekt.

Um dieselben Erscheinungen am Ophthalmotrop hervorzubringen, braucht man nur ein mit mehreren Löchern versehenes Papier auf die vordere oder hintere Fläche der Cornea, oder auf die vordere Fläche der Linse des für eine bestimmte Entfernung accomodirten, künstlichen Auges zu kleben und ein Licht vor oder hinter den Punkt der Accommodation aufzustellen. Verdeekt man dann die Hälfte der Pupille mit einem Kartenblatte, so werden, weil wir es hier mit einem künstlichen Auge zu thun haben, wo die Projection nach Aussen in der Richtungslinie fehlt, die Doppelbilder derselben Seite verschwinden, wenn das Licht vor dem Punkte der Accmomodation aufgestellt ist, dagegen die Bilder der entgegengesetzten Seite, wenn das Licht hinter dem Punkt der Accommodation steht.

Zu leugnen ist indessen nicht, dass das Doppel- und Vielfachsehen mit einem Auge auch ohne Trübung der brechenden Medien vorkommt, und dieses scheint mit einer fehlerhaften Accommodationsthätigkeit des Auges zusammenzuhängen, was durch folgendes Experiment wahrscheinlich gemacht wird.

Richtet man seine Aufmerksamkeit auf ein Kerzenlicht, während man das Auge für einen nahe vor dasselbe gehaltenen Gegenstand accommodirt, so entwirft das

Licht mehrere, nicht ganz scharf begrenzte und etwas farbige Bilder, die von getrennten Zertsreungskreisen auf unserer Retina abhängen. Die getrennten Zerstreuungskreise beweisen, dass die brechenden Mittel des Auges nicht vollkommen regelmässige Krümmungen haben, denn hätten sie solche, so würde sich nur ein Zerstreuungskreis zeigen. Kurzsichtige sehen daher entfernte hellleuchtende Gegenstände oft doppelt, oder mehrfach und mit dioptrischen Farben, was sie nicht mehr thun, wenn sie eine für die Entfernung passende Brille aufsetzen; Kranke, welche an Amblyopia amaurotica leiden, bei denen mit dem Sinken der optischen Sensibilität zugleich eine Schwächung des Accommodations- und oft selbst eine Steigerung des Refractionsvermögens, eintritt, klagen bisweilen über Polyopie und dioptrisches Farbensehen, weil der Refractionszustand ihrer Augen sich nicht mehr nach der Entfernung der Objecte richtet.

Die gemeinschaftliche Ursache der Polyopia und Diplopia monocularis ist also mangelhaftes Accommodationsvermögen in Verbindung mit Fehlern der brechenden Medien; vergl. meine bildliche Darstellung der Krankheiten des menschlichen Auges, Heft I. Seite 60, Leipzig 1854.

A. Fick (medicinische Physik, Braunschweig 1856, § 233, 234 und 237) erklärt die Polyopia monocularis, die er aber lieber Discontinuität der Zerstreuungsbilder genannt wissen will, auf ähnliche Weise, indem er sie von mangelhafter Adaption und Unregelmässigkeiten der brechenden Mittel ableitet und den Thränentröpfchen auf der Hornhaut dabei eine Hauptrolle zuschreibt. Fick sagt ferner: da die Erscheinung in keinem noch so normalen Auge fehle, so könne man sie nicht in das Gebiet der

Pathologie verweisen. Diese letztere Behauptung, so allgemein dahin gestellt, kann man nicht gelten lassen, denn wenn es auch richtig ist, dass man, wie ich oben gezeigt habe, bei einem jedem Menschen künstlich die Polyopia monocularis hervorrufen kann, so ist es doch etwas Anderes, wenn die Adaption des Auges durch Facetten und Trübungen der Hornhaut oder der Linse gestört und eine, den Kranken stets quälende und im Sehen hindernde Discontinuität der Zerstreuungskreise hervorgerufen wird. Unter diesen Umständen wird sich Niemand dabei beruhigen, wenn man ihm sagt, seine Gesichtsstörung gehöre in das Gebiet der Physiologie. Ausserdem habe ich schon mehrere Fälle bekannt gemacht, bei denen ich die Polyopie auf therapeutischem Wege beseitigt habe (vgl. meine klinischen Beiträge, Braunschweig 1843. Seite 135). Uebrigens hat Fick seine Theorie auch am künstlichen Auge erläutert, was man a. a. O. nachsehen mag.

4. Sehwinkel.

Der Winkel, welcher zwischen den im Kreuzungspunkte sich schneidenden Richtungslinien zweier Objectspunkte liegt, ist der Schwinkel. Dieser Winkel wächst mit der Entfernung der Punkte des Objects von einander und da der Winkel zwischen den Richtungslinien vor und hinter dem Kreuzungspunkte sich gleich ist, so wächst auch mit dem Winkel vor dem Kreuzungspunkte die Entfernung der entsprechenden Punkte des Netzhautbildchens. Gegenstände verschiedener Entfernungen, welche gleich grosse Sehwinkel haben, müssen demnach auch gleich grosse Bilder auf der Netzhaut entwerfen und ihr Bild muss, wenn sie zu demselben Sehwinkel gehören, dieselbe Stelle der Netzhaut einnehmen. Aus diesem

Grunde können uns verschieden grosse Objecte, wenn wir sie in entsprechenden verschiedenen Entfernungen wahrnehmen, von gleicher Grösse erscheinen, vorausgesetzt, dass wir andere Merkmale ausser Acht lassen, die uns zur richtigen Schätzung der wahren Grösse verhelfen. Wollen wir diesen schon aus optischen Gesetzen leicht zu erörternden Satz auch durch ein Experiment am Ophthalmotrop beweisen, so müssen wir in einiger Entfernung von demselben einen Körper aufstellen und auf ihn die Sehaxe eines künstlichen Auges richten. Nehmen wir dann einen zweiten grösseren Körper und stellen denselben in gerader Richtung mit dem ersten kleineren weiter vom Ophthalmotrop entfernt auf, so werden wir nach einigem Probiren demselben bald eine Stelle anweisen können, von der sein Bild in derselben Grösse auf denselben Stellen des die Netzhaut vorstellenden Glases des künstlichen Auges erscheint.

5. Einige Erscheinungen bei der Kurzsichtigkeit.

Die Kurzsichtigkeit ist bekanntlich derjenige Zustand des Sehvermögens, in welchem nahe Gegenstände deutlich und scharf, ferne dagegen undeutlich oder gar nicht gesehen werden. Der Kurzsichtige aber sieht kleine Gegenstände deutlicher, als der Weitsichtige, weil dieselben in grosser Nähe gesehen unter einem viel grösseren Gesichtswinkel erscheinen. Ebenso sieht der Kurzsichtige kleine Gegenstände bei einem schwachen Lichte deutlicher als der Weitsichtige, weil ein Object, wenn es nahe gehalten wird, nach bekannten optischen Gesetzen, mehr Lichtstrahlen ins Auge schickt, als wenn es fern vom Auge sich befindet. Es liest daher der Kurzsichtige in der

Dämmerung noch mit Leichtigkeit, wo der Weitsichtige gar nicht mehr zu lesen im Stande ist. Auch diese Thatsache kann durch ein Experiment mit dem Ophthalmotrop nachgeahmt werden. Accommodirt man die künstlichen Augen bei schwachem äusseren Lichte für einen etwas entfernt liegenden weissen Körper, so wird man das Abbild davon nur kaum im Ophthalmotrop wahrnehmen; bringt man nun aber den Körper um ein Bedeutendes näher und accommodirt man zugleich die künstlichen Augen der Entfernung des Körpers entsprechend, so wird das Abbild desselben um vieles klarer im Ophthalmotrop erscheinen.

6. Zerstreuungskreise.

Ein Object kann nur dann ein deutliches Bild, in dem alle einzelne Punkte desselben, welche Lichtstrahlen in's Auge schicken, als gesonderte wahrgenommen werden sollen, auf der Retina entwerfen, wenn die Vereinigungsweite der Lichtstrahlen eines jeden von den entsprechenden Punkten kommenden Lichtkegels genau auf die Oberfläche der Retina fällt. Da nun die Vereinigungsweite der Lichtstrahlen für ferne Gegenstände der Linse etwas näher, für nähere der Linse ferner liegt, so folgt daraus, dass zum Sehen der Objecte in verschiedener Entfernung gewisse innere Veränderungen des Auges nothwendig sind, durch welche sein Refractionszustand der Entfernung der Objecte angepasst wird. Die Richtigkeit dieses nach optischen Gesetzen schon feststehenden Satzes wird durch folgende Thatsache noch mehr erhärtet: Visirt man mit nur einem offenen Auge die sich deckenden Enden zweier Nadeln, welche in verschiedener Entfernung hinter einander

aufgestellt sind, so erscheint die erste deutlich, wenn die zweite nebelicht (in Zerstreuungskreisen) gesehen, und die zweite deutlich, wenn die erste undeutlich gesehen wird. Beide Bilder liegen in der optischen Axe und decken sich, und doch hängt es von einer willkürlichen, im Auge fühlbaren Anstrengung ab, das erste, oder das zweite deutlich zu sehen. Auch dieses Experiment kann man mit dem Ophthalmotrop nachmachen und dadurch den rein physikalischen Grund desselben beweisen. Richtet man die optische Axe des einen Auges des Instrumentes auf die hinter einander aufgestellten Nadeln und accommodirt man das künstliche Auge für die erste Nadel, so erscheint diese in demselben deutlich, während die zweite undeutlich und nebelicht gesehen wird. Umgekehrt verhält es sich, wenn man das Auge für die zweite Nadel accommodirt.

Magendie leugnet das Accommodationsvermögen und beruft sich darauf, dass das Bild, welches man in einem rein präparirten Kaninchenauge wahrnimmt, an Deutlichkeit nicht verliere, wenn auch der Gegenstand seine Entfernung verändere. Dasselbe behauptet Valentin von den Bildern im künstlichen Auge und Engel von den Bildern, die man auf einem transparenten Schirm hinter einer aus dem Auge genommenen menschlichen Linse auffängt. Dies ist nur richtig bei Bildern solcher Gegenstände, die weit von den genannten brechenden Medien entfernt sind (vgl. mein Lehrb. der Ophthalmol. Aufl. 2, Bd. 1, Seite 204). Betrachtet man aber die Bilder näher liegender, auch nur wenig von einander entfernter Objecte im präparirten Kaninchenauge, oder im künstlichen Auge des Ophthalmotrops, oder hinter der menschlichen Linse mit der Loupe, so sieht

man sehr gut die Verschiedenheit in der Schärfe ihrer Conturen.

Das auf der Netzhaut erscheinende Bild kann sich also nach den Gesetzen der Dioptrik nur dann vollkommen rein und scharf darstellen, wenn die vom Objecte in das Auge fallenden Lichtstrahlen, die zu demselben Lichtkegel gehören, auf einem Punkte der Retina sich schneiden. Fällt der Schneidepunkt vor oder hinter die Retina, so bilden sich Zerstreuungskreise, welche ein verwaschenes, undeutliches und selbst mit dioptrischen Farben vermischtes Bild geben. Solche Zerstreuungskreise entstehen, wenn das Object sich über eine gewisse Grenze, die bei verschiedenen Menschen verschieden ist, zu weit, oder zu nahe vor dem Auge befindet. Die deutlichste Anschauung von der Natur der Zerstreuungskreise kann man sich mittelst des Ophthalmotrops verschaffen. Man stelle vor demselben in einiger Entfernung ein Licht auf, richte auf dasselbe die künstlichen Augen und accommodire diese für die Entfernung des Lichtes, so wird das Licht sich deutlich und scharf in demselben abbilden; nähert man dann das Licht dem Ophthalmotrop, oder entfernt man es nach und nach, so wird das Bild desselben anfangs undeutlich und verwaschen und am Ende in der Form eines nach der Peripherie immer mehr verwaschenen Kreises erscheinen.

7. Nutzen der Linsen- und Prismengläser als Brillen.

In einem fernsichtigen Auge vereinigen sich bekanntlich die Lichtstrahlen ferner Gegenstände, welche weniger divergiren, auf der Retina, aber die stärker divergirenden Strahlen naher Gegenstände vereinigen sich erst

hinter der Retina und bilden auf derselben Zerstreuungskreise. Ein convexes Glas verbessert diesen Fehler, indem es die Strahlen naher Gegenstände näher, das heisst auf der Retina zur Vereinigung bringt. Bei dem kurzsichtigen Auge ist es umgekehrt, die Strahlen naher Gegenstände vereinigen sich hier auf der Retina und bringen ein deutliches Bild hervor, die Strahlen ferner Gegenstände, deren Vereinigungsweite näher ist als die der nahen, vereinigen sich im künstlichen Auge vor der Retina und bilden Zerstreuungskreise auf derselben; dieser Fehler des kurzsichtigen Auges wird durch eine passende concave Brille ausgeglichen.

Auch der Nutzen der Brillen kann am Ophthalmotrop versinnlichet werden. Stellt man vor demselben in einiger Entfernung ein Licht auf und accommodirt man die künstlichen Augen für einen näheren oder ferneren Punkt, so wird das Licht sich in demselben in Form eines Zerstreuungskreises darstellen, aber sogleich deutlich und mit scharfen Conturen erscheinen, so wie man, je nachdem die künstlichen Augen für einen näheren oder ferneren Punkt accommodirt sind, ein passendes concaves oder convexes Glas vor dieselben hält.

Durch ein Prisma werden die Lichtstrahlen, die auf die Fläche desselben fallen, einestheils in ihrer Richtung verändert und anderntheils zerstreut und in ihre farbigen Elemente zerlegt; dieses letztere natürlich nur, wenn das Prisma nicht achromatisch construirt ist. Die Ablenkung der Lichtstrahlen ist derartig, dass sie nach dem Durchgange durch das Prisma mehr nach der Seite der Basis desselben hin gebrochen werden. Hält man also zum Beispiel vor das linke Auge ein prismatisches Brillenglas mit der Basis nach der Nase, so wird das Bild eines

leuchtenden Punktes auch mehr nach der Nase zu auf die Retina fallen und deshalb den Eindruck machen, als läge der leuchtende Punkt weiter nach der Schläfenseite hin, nach links. Es wird hier also, wenn man mit beiden Augen fixirt, Doppelsehen, und zwar gleichseitiges entstehen (vgl. mein Lehrb. d. Ophthalmologie, Aufl. 2, Bd. 2, Seite 511 ff.).

Da also hierbei Doppelsehen eintritt, und die Augen sich stets so zu wenden streben, dass gleichnamige Stellen beider Netzhäute von einem Punkte des Objects afficirt werden, so wird, während das rechte Auge seine ursprüngliche Richtung beibehält, das linke Auge, dessen Schaxe ohne Prisma auch normal stand, seine Sehaxe so weit nach aussen wenden, dass das Bild des fixirten Punktes, welches durch das Prisma nach innen von der Macula lutea auf die Retina geworfen wird, auch auf die Macula lutea fällt. Auf diese Weise wird, wenn das Prisma nicht zu scharf ist, das Doppelsehen wieder in Einfachsehen umgewandelt. Der leuchtende Punkt erscheint dabei also beiden Augen wieder einfach, aber nicht mehr an der ursprünglichen Stelle, sondern an der Stelle, wo sich die beiden Sehaxen jetzt kreuzen, also in einem Punkte, der weiter hinausgerückt ist.

Hieran reihet sich die Betrachtung des Einflusses eines Prisma's beim Schielen des einen Auges nach aussen, worauf Donders zuerst aufmerksam gemacht hat. Schielt z. B. das linke Auge nach aussen, so wird ein fixirter Punkt sein Bild im rechten Auge auf die Macula lutea werfen, im linken Auge aber auf eine von der Macula lutea nach links liegende Stelle der Retina. Es würde also hier gekreuztes Doppelsehen eintreten. Setzt man nun aber ein Prisma vor das linke Auge mit der Basis

nach der Nase, welches nicht so stark bricht, dass das Bild des leuchtenden Punktes auf die Macula lutea geworfen wird, sondern auf eine Stelle, welche nach links der Macula lutea näher liegt, so wird, weil an dieser Stelle das Bild die Retina stärker reizt, auch die Tendenz zur Ausgleichung dieses störenden Doppelsehens im linken Auge stärker hervortreten; und es wird, wenn übrigens keine Hindernisse vorliegen, der Rectus internus des linken Auges sich ermannen und die Macula lutea nach dem Bilde wenden, wodurch dann das Doppelsehen ausgeglichen würde. Hätte man dies nun auch erreicht, so wäre damit das Schielen freilich gemindert, aber nicht ganz aufgehoben; daher müsste man ein schwächeres Prisma mit dem stärkeren vertauschen und allmälig zu immer schwächeren Prismen übergehen. Das erste Prisma ist in der Art zu wählen, dass das Doppelbild des schielenden Auges dem Doppelbilde des richtig fixirenden Auges zwar bedeutend näher gerückt, aber nicht ganz in dasselbe übergeführt wird. Ist dann durch dieses Prisma mittelst einer besseren Stellung des schielenden Auges das Doppelsehen beseitigt, so bringt man durch ein schwächeres Prisma wieder ein gelindes Doppelsehen hervor, um so auf diese Weise das Auge allmälig wieder in seine normale Stellung zurückzuführen. Dies gelingt aber leider nur selten, weil die Ursachen des Schielens, wie z. B. Lähmungen oder Contracturen der Muskeln, Fehler der brechenden Medien, Lähmungen der Retina etc. in der Regel viel mächtiger sind, als dass sie dadurch, dass das Bild mittelst eines Prisma's der Macula lutea näher gebracht wird, überwunden werden könnten. Ein zu beachtendes Hülfsmittel bleibt die Anwendung der prismatischen Gläser aber immer; nur hat man sich zu hüten,

dass man nicht eine falsche Anwendung davon macht (vgl. mein Lehrb. Bd. 2 S. 517).

Setzt man ein Prisma anstatt mit der Basis nach der Nase mit seiner Basis nach der Schläfe gekehrt vor das eine, z. B. linke Auge, so sind alle Erscheinungen den vorigen gerade entgegengesetzt.

Haben wir es zu thun mit einem convergirenden Schielen; schielt z. B. das linke Auge in der Art, dass seine Sehaxe die Sehaxe des rechten Auges vor dem Objecte der Aufmerksamkeit schneidet, so wird das Object in dem nicht schielenden Auge sein Bild auf die Macula lutea werfen, in dem linken Auge aber, wenn kein Prisma davor steht, auf einen Punkt, der nach innen, also nach rechts von der Macula lutea liegt. Tritt hierbei Doppelsehen ein, so ist dies ein gleichseitiges. Setzt man nun aber ein Prisma von einer solchen Brechungskraft, dass das Bild nicht auf die Macula lutea des linken Auges fällt, sondern nur ihr näher gerückt wird, mit der Basis nach der Schläfe vor das linke Auge, so wird hier, wenn übrigens die Verhältnisse günstig sind, der Rectus externus dadurch stärker erregt werden und die Macula lutea so wenden, dass das Bild auf sie fällt. Im Uebrigen gilt vom Gebrauche des Prisma's beim convergirenden Schielen dasselbe, was schon beim divergirenden Schielen hervorgehoben ist.

Soll also beim Schielen ein Prisma zur Heilung desselben benutzt werden, so muss das Bild eines leuchtenden Punktes durch das Prisma im schielenden Auge stets auf dieselbe Seite von der Macula lutea geworfen werden, auf der es ohnehin schon seine abnorme Stellung einnimmt, aber immer der Macula lutea näher und nicht auf dieselbe, weil sonst durch künstliche Ausgleichung des Dop-

pelsehens das Auge gerade in seiner schielenden Stellung festgehalten werden würde.

Bei der Auswahl eines passenden Prisma's kann man auf doppelte Weise verfahren; man macht entweder Versuche mit dem Kranken, oder man benutzt auch das Ophthalmotrop dazu.

Im ersteren Fall lässt man den Kranken ein Licht, welches vor einer grossen, durch weisse Striche, die mit Zahlen bezeichnet sind, getheilten Tafel steht, in einer Entfernung von 6—8 Fuss anschauen und lässt sich, wenn der Kranke doppelt sieht, die Entfernung der Doppelbilder bezeichnen. Darauf schiebt man ein Prisma vor das schielende Auge und zwar beim divergirenden Schielen mit der Basis nach der Nase und beim convergirenden Schielen mit der Basis nach der Schläfe; beim Schielen nach oben mit der Basis nach unten etc. Wird nun das Doppelbild des schielenden Auges durch das Prisma dem Doppelbilde des gesunden Auges beträchtlich genähert, so kann man das Prisma als ein passendes betrachten. Ist die Annäherung nicht bedeutend genug, so wählt man ein stärkeres Prisma. Wird aber das Doppelbild des schielenden Auges auf die entgegengesetzte Seite des Bildes des gesunden Auges geworfen, oder wird das Doppelsehen gleich durch das Prisma ausgeglichen, so ist dasselbe zu scharf. Gleicht sich bei richtiger Wahl des Prisma's das Doppelsehen in einiger Zeit aus, so vertauscht man dieses Prisma mit einem schwächeren, um dadurch aufs Neue ein geringes Doppelsehen hervorzubringen. Leidet der Schielende nicht an Doppelsehen wegen eines zu starken Grades des Schielens, so muss man ein Prisma wählen, welches Doppelsehen mit geringem Abstande der Doppelbilder hervor-

ruft, und zwar beim divergirenden Schielen gekreuztes und beim convergirenden Schielen gleichseitiges Doppelsehen.

Will man das Ophthalmotrop benutzen, so muss man vorher die Grösse des Schielwinkels messen, der bei der Fixation eines Objects in einer bestimmten Entfernung hervortritt. Darauf richtet man dasjenige künstliche Auge des Ophthalmotrops, welches dem gesunden Auge des Kranken entspricht, in derselben Entfernung wie vorher das Auge des Kranken so auf ein Object, am besten auf ein Licht, dass das Bild des letzteren auf den Mittelpunkt des Glases fällt, welches die Retina vorstellt; ist dies geschehen, so gibt man der optischen Axe des andern künstlichen Auges dieselbe schielende Richtung, welche unter denselben Verhältnissen das schielende Auge des Kranken inne hielt. Das Bild des Lichtes wird jetzt im künstlichen Auge beim Schielen nach innen auf die innere Seite vom Mittelpunkte und beim Schielen nach aussen auf die äussere Seite des Mittelpunktes des Retinalglases fallen. Hält man nun ein prismatisches Brillenglas beim Schielen nach aussen, mit der Basis nach innen, beim Schielen nach innen mit der Basis nach aussen vor das schielende künstliche Auge, so wird man leicht ein Prisma von einer solchen Stärke auszuwählen im Stande sein, welches das Bild dem Mittelpunkte nahe bringt. Das so am künstlichen Auge erprobte Prisma wird dann wenigstens ungefähr auch für das natürliche Auge passen. Uebrigens ist es leicht einzusehen, dass man sich am Ophthalmotrop die physikalischen Wirkungen des Prisma's am Auge sehr zweckmässig versinnlichen kann.

8. Purkinje-Sanson'sches Experiment.

Bekanntlich erhält man durch einen Hohlspiegel von einem Gegenstande, welcher jenseits des Mittelpunktes der Krümmung des Spiegels liegt, ein umgekehrtes verkleinertes Bild zwischen dem Mittelpunkte und dem Hauptbrennpunkte des Spiegels, dagegen durch Convexspiegel ein verkleinertes aufrechtes Bild eines Gegenstandes hinter dem Spiegel. Da wir nun auch im Auge convexe und concave spiegelnde Flächen besitzen, nämlich als convexe die Hornhaut und die vordere Linsenkapsel, als concave die hintere Linsenkapsel, so werden wir auch im Auge aufrecht stehende und umgekehrte verkleinerte Bilder der Objecte wahrnehmen. Am besten sieht man diese, wenn man nach Purkinje's Vorschrift dabei verfährt: man halte vor ein mit klaren Medien versehenes Auge ein brennendes Licht und man wird drei Bilder desselben im Auge sehen. Das erste deutlichste, grösste, steht aufrecht; das zweite kleinere, hinter jenem befindliche verkehrt; das dritte hinterste, schwache, wieder aufrecht. Bewegt man das Licht vor dem Auge hin und her, so bewegt sich das mittelste verkehrte in entgegengesetzter Richtung, während die beiden aufrechten dem Lichte immer folgen. Das erste Bild ist ein Spiegelbild der Cornea, das zweite umgekehrte ein Spiegelbild der hinteren concaven Kapselwand, das dritte, aufrecht stehende, ein Spiegelbild der vorderen convexen Kapselwand. Ist nun die vordere Kapselwand verdunkelt, so sieht man nur das erste aufrechte Bild; ist die Linse, oder die hintere Kapselwand verdunkelt, so sieht man die beiden aufrechten Bilder; dagegen alle drei Bilder, wenn die Trübung im Glaskörper liegt.

Alle diese Erscheinungen kann man am Ophthalmo-

trop wiederholen und dadurch die Richtigkeit der Theorie bestätigen. Hält man nahe vor ein künstliches Auge ein Kerzenlicht, so sieht man auch hier zwei aufrecht stehende Spiegelbilder und ein umgekehrtes Spiegelbild. Nimmt man jetzt die Linse aus dem Auge heraus, so erscheint hier, wie in einem natürlichen Auge, dem die Krystalllinse mit der Kapsel genommen ist, nur ein aufrecht stehendes Bild. Setzt man darauf eine andere, auf ihrer hinteren Fläche mattgeschliffene Linse in das Auge, so sieht man nur zwei aufrecht stehende Bilder; setzt man aber anstatt der Linse ein concaves Glas in das Auge, mit der Concavität nach vorn, so erscheinen auch zwei Bilder, von denen aber nur das erstere aufrecht und das zweite umgekehrt steht.

Haben diese Experimente am Ophthalmotrop auch keinen hohen wissenschaftlichen Werth, so verhelfen sie doch dem Zuhörer rasch zu einer klaren Einsicht des gedachten Experiments, was jetzt um so mehr von Wichtigkeit ist, weil dieses Experiment in der neuesten Zeit eine so grosse Bedeutung für die Lehre von dem Accommodationsvermögen erhalten hat.

9. Bestimmung des Sitzes von Verdunkelungen im Auge, bei der Untersuchung mit dem Augenspiegel.

Bei der Untersuchung mit dem Augenspiegel erscheinen unter Anwendung eines concaven Glases die Verdunkelungen der brechenden Medien und sonstigen Objecte um so mehr verkleinert, je weiter sie nach vorn, und um so mehr vergrössert, je weiter sie nach hinten liegen. Bei der Anwendung des convexen Glases erscheinen dagegen alle Verdunkelungen und Objecte vergrössert, und

zwar um so mehr, je weiter sie nach vorne liegen, weil die Lichtstrahlen unter Accommodation des Auges für terrestrische Objecte vor dem Auge convergent sind, wenn sie vom Augenhintergrunde kommen, dagegen parallel, wenn sie etwas vor der Retina aus dem Glaskörper stammen, und von da divergent und um so divergenter, je weiter ein die Lichtstrahlen reflectirender Körper nach vorn im Auge liegt.

Auch diese Erscheinungen kann man mit dem Ophthalmotrop nachmachen. Man klebe auf alle Flächen, ebenso auf die vordere Fläche des Retinalglases schmale, verschiedenfarbige Papierstreifen in verschiedenen Richtungen auf und suspendire auch einige Glasperlen in der Gegend des Glaskörpers und stelle hinter das Ophthalmotrop ein Licht, welches seine Strahlen von hinten nach vorn durch dasselbe hindurchschickt; darauf schaue man mit einem Augenspiegel, am besten mit dem meinigen, zuerst unter Anwendung eines concaven und dann eines convexen Glases, von vorn in das künstliche so hergerichtete Auge und man wird die angeführten Erscheinungen ohne Schwierigkeit erkennen.

Mit den seitlichen Bewegungen des beobachteten Auges erscheinen Verdunkelungen und andere Objecte der hinter einander gelegenen Theile des Auges in einem verschiedenen parallaktischen Winkel. Bei der Richtung der Sehaxe, z. B. nach rechts, machen die Objecte vor dem Mittelpunkte auch eine Bewegung nach rechts, und zwar um so stärker, je weiter sie nach vorn liegen; dagegen scheinen die Objecte, welche im Mittelpunkte sich befinden, zu ruhen; während die, welche ihren Sitz hinter dem Mittelpunkte haben, sich um so stärker nach links bewegen, je weiter sie nach hinten liegen. Auch

diese Erscheinung kann man am Ophthalmotrop wahrnehmen, wenn man das mit aufgeklebten Streifen versehene und von hinten erleuchtete, künstliche Auge bei der Betrachtung durch den Augenspiegel Bewegungen nach verschiedenen Richtungen machen lässt.

10. Mouches volantes, Mückensehen.

Es giebt im lebendigen Auge eine Menge von Erscheinungen, welche von kleinen Objecten herrühren, z. B. von Blut, circumscripten Trübungen der brechenden Medien, von Schleimbläschen auf dem Auge, von normalen oder abnormen Zellenbildungen im Auge, die entweder das Licht anders brechen, als die normalen durchsichtigen Medien, oder undurchsichtig sind und deshalb unter Umständen Schatten auf die Retina werfen, welche unter der Form von Gesichtsvorstellungen nach aussen projicirt werden. Dies kommt auf folgende Weise zu Stande:

Hat das in's Auge fallende Licht, wie es bei'm gewöhnlichen Sehen der Fall ist, eine passende, im Auge convergente Richtung, wobei von jedem Punkte des Objects ein Lichtkegel auf das Auge fällt, dessen Spitze im leuchtenden Körper und dessen Basis in der Pupille liegt, und dem ein anderer Lichtkegel entspricht, dessen Basis ebenfalls in der Pupille, dessen Spitze aber bei richtiger Accommodation auf der Retina liegt, so können nur solche Körperchen, die bedeutend kleiner sind, als die Pupille, im eignen Auge als nach aussen projicirte Schatten gesehen werden, wenn sie ziemlich nahe oder ganz nahe vor der Retina liegen; denn es giebt bekanntlich so viel Lichtkegel, und es zeichnen sich auf der Retina so viele Punkte ab, als leuchtende Punkte eines Objec-

tes Lichtstrahlen in's Auge schicken. Ein dunkeler Fleck in der Hornhaut, oder in der Krystalllinse, oder im Glaskörper weiter von der Retina entfernt, der kleiner ist, als die Pupille, könnte daher wohl den Durchtritt einiger Lichtstrahlen eines oder mehrerer dieser Lichtkegel hemmen, keineswegs aber einen Punkt des Gegenstandes gänzlich unsichtbar machen, das heisst, einen Theil der Retina beschatten, indem die übrigen ungehindert durchtretenden Lichtstrahlen noch hinreichen, um ein vollständiges, nur etwas dunkleres Bild auf der Retina zu entwerfen. Liegen aber kleine, das Licht anders, als die normalen durchsichtigen Medien des Auges brechende, oder dunkle Körperchen in geringer Entfernung vor der Retina, so können diese eine unregelmässige Brechung der Lichtstrahlen und dadurch Farbenerscheinungen im Auge hervorrufen, oder Schatten auf die Retina werfen und einzelne Stellen eines Objectes unsichtbar machen. Je näher der Retina das die Lichtstrahlen auffangende Körperchen liegt, um desto kleiner, schärfer begrenzt und dunkeler wird der von ihnen geworfene Schatten sein, und je weiter von derselben entfernt es sich befindet, um desto grösser, blasser und verwaschener wird der Schatten erscheinen. Da nun auch im gesunden Auge in allen brechenden Medien kleine dunkele Stellen und das Licht anders brechende Zellen einzeln oder reihenweise zerstreut liegen, so sieht man, namentlich bei'm Blicke auf eine helle Fläche, z. B. auf eine helle Wolke oder Wand, gar nicht selten mehrere Schichten von Mouches volantes in verschiedener Deutlichkeit hinter einander, nämlich die, welche der Retina am nächsten liegen, deutlich und mit scharf begrenzten Conturen, die weiter entfernt liegenden, nebelförmig und mit verwaschenen Umrissen und um so

blasser und verwaschener, je weiter sie von der Retina entfernt sind. Zu bemerken ist hierbei aber doch, dass auch die etwas weiter von der Retina entfernt liegenden Körperchen schärfer begrenzte Schatten auf die letztere werfen können, wenn das Auge für die einfallenden Lichtstrahlen nicht vollkommen accommodirt ist; daher klagen Kurzsichtige und überhaupt Menschen, die ein schwaches Accommodationsvermögen besitzen, mehr über Mouches volantes, als solche, die mit einem kräftigen Accommodationsvermögen begabt sind.

Die Richtigkeit der Theorie von den angegebenen Erscheinungen können wir durch ein einfaches Experiment mit dem Ophthalmotrop beweisen; befestigt man nämlich hinter der Linse in verschiedenen Entfernungen von dem Glase, welches die Retina im künstlichen Auge vorstellt, an den inwendig befindlichen Häkchen Schnüre von feinen durchsichtigen Glasperlen, und richtet man dann das Ophthalmotrop gegen den hellen Himmel, so sieht man in demselben ganz die nämliche Erscheinung wie im menschlichen Auge: Nämlich nur die Perlen, welche ganz nahe vor der Retina liegen, erscheinen als dunkele distincte Schatten, während die, welche weiter von der Retina entfernt liegen, grössere, verwaschene, hellere Schatten bilden; die noch weiter entfernt liegenden kommen aber unter diesen Umständen gar nicht zur Wahrnehmung.

Sollen die Zellen, Körperchen, Verdunkelungen, Blutgefässe u. s. w., welche sowohl in der Norm, als bei Krankheiten weiter von der Retina entfernt im Glaskörper, oder in der Linse, oder im Humor aqueus, oder auf der Hornhaut liegen, zur subjectiven Anschauung gelan-

gen, so muss das Lieht im Auge eine parallele, oder divergente Richtung haben.

Um dem Liehte im Auge eine parallele, oder selbst divergente Richtung zu geben, muss man sieh der kleinsten mit der Spitze einer sehr feinen Nähnadel gemaehten Oeffnung in einem Kartenblatte bedienen, oder des Lichtbildehens, welches auf der Wölbung eines Fingerringes, oder eines glänzenden Nadelknopfes, durch das auffallende Lieht des Tages, oder einer Lampe entsteht, indem man den Ring ganz nahe vor das Auge hält. Man sieht hierbei:

1) ein mässig erleuehtetes, fast kreisförmiges Feld, den seiner Form naeh dureh die Pupille bestimmten sogenannten Zerstreuungskreis;
2) die gewöhnlichen Mouches volantes, in Form kleiner, den Wassertropfen ähnlieher, einzelner, oder rosenkranzartig an einander gereihter Bläsehen, mit einer dunkelen Contur;
3) nimmt man häufig beim Blinzeln kleine durehsichtige Körperehen wahr, die wie Wassertröpfchen im Zerstreuungsfelde herabzugleiten seheinen und denen man den Namen Spectrum muerolaerymale gegeben hat. (Ueber die Natur derselben vgl. mein Lehrb. d. Ophthalm. Aufl. 2. Bd. 2. S. 292; und Listing, Beitrag zur physiol. Optik, Göttinger Studien 1845);
4) ausser den bisher genannten, in jedem Auge vorkommenden, veränderliehen entoptisehen Erseheinungen, giebt es nun noch mehrere, die nur in wenigen Augen, vermöge besonderer Eigenthümlichkeiten, oder pathologiseher Zustände vorkommen. Es sind dahin namentlieh die Fälle zu rechnen, in denen sich in der wässerigen Feuchtigkeit, oder im Glaskörper filamentöse, membranöse, oder sonstig gestal-

tete organische Gebilde, Rudimente der Linse, Entozoen und dergleichen befinden, welche in den Augenkammern ganz frei, oder nur theilweise an der Wandung haftend, herumschwimmen und durch mechanische Einwirkungen, wie Wendung des Auges, Erschütterung des Kopfes zufällig in den wirksamen Strahlencylinder treten und so entoptisch wahrnehmbar werden. Solche, in den Feuchtigkeiten des Auges flottirende Körper, werden alsdann Skotome verursachen, die sich von den oben beschriebenen gewöhnlichen Mouches volantes durch ihre Form und Beweglichkeit unterscheiden;

5) die meisten Augen nehmen noch verschiedene beharrliche Gegenstände im Zerstreuungsfelde wahr, welche in mehrfacher Hinsicht bei verschiedenen Augen grosse Verschiedenheiten darbieten; die beharrlichen Binnenobjecte stellen sich nun auf dem florartigen Hintergrunde des Zerstreuungskreises in sehr verschiedenen Zeichnungen dar, und zwar:

a) als Erscheinungen, die von der Cornea herrühren; diese zeigen sich als dunkele Flecken, Streifen, helle Lichtzellen; und

b) als Trübungen in dem Linsenapparate, die sich zeigen: als Perlflecken, oder runde Scheibchen, die immer hell, meist mit scharfem, dunkelen Rande versehen sind; als dunkele Flecken, die sich von den Perlflecken nicht blos durch den Mangel eines hellen Kernes, sondern auch durch die grössere Mannigfaltigkeit in der Gestalt unterscheiden; als dunkele Linien und als lichte Streifen, die meist eine Art dendritische Figur mit einem mehr oder weniger ausgesprochenen Centrum besitzen und

so mehr oder weniger den Linsenwirbeln entsprechen.

Um sich von der Richtigkeit der Theorie dieser Erscheinungen zu überzeugen, male man auf die Hornhaut und die Linse des künstlichen Auges, in welchem die obengenannten Perlschnüre aufgehängt sind, Flecken, Sterne und dergleichen mit Touche, halte darauf ein Kartenblatt mit einem Löchelchen nahe vor dasselbe und richte das Auge dabei gegen den hellen Himmel, so werden, weil das hierbei in's Auge fallende Licht eine parallele, oder selbst divergente Richtung bekommt, nicht blos jene im Auge vertheilten Perlschnüre, sondern auch die gemalten Flecken und Sternchen Schatten auf die Retina werfen. Bewegt man hierbei durch Schütteln des Auges die aufgehängten Perlschnüre, so wechseln die von ihnen herrührenden Schatten ihre Lage auf dem Retinalglase, während die, welche von den gemalten Flecken und Sternchen herrühren, unverändert dieselbe Lage auf der Retina beibehalten.

Zur Bestimmung der Lage der entoptischen Körper in den verschiedenen Theilen des menschlichen Auges hat Donders eine sehr einfache und zweckmässige Methode angegeben: Man lasse das Licht, z. B. vom klaren Himmel, oder von einer Lampenkuppel, durch zwei kleine Oeffnungen von gleicher Grösse, die in einer Entfernung von ungefähr 1½ Millimeter neben einander in einen undurchsichtigen Schirm gemacht sind und ungefähr in die vordere Brennpunktsfläche gehalten werden, in's Auge fallen. Man erhält dann zwei Bündel homocentrischer, nahezu paralleler Strahlen in das Auge, die jedes einen Zerstreuungskreis von der Grösse und Gestalt der Pupille auf die Netzhaut werfen, welche einander ungefähr

zur Hälfte decken. In jedem Kreise wird das vollkommene Spectrum gebildet, so dass alle Bildchen doppelt sind. Hierbei werden nun die Doppelbilder um so weiter von einander entfernt sein, je weiter sie von der Netzhaut liegen, und, was für die absolute Bestimmung des Sitzes die Hauptsache ist, eine Verdunkelung in der Pupille wird ihre Schatten gerade so weit von einander werfen, wie die Mittelpunkte der Zerstreuungskreise von einander entfernt sind, und nach dieser Proportion wird man die Entfernung der übrigen Körperchen berechnen können, indem die vor der Pupille gelegenen Objecte sich in beiden Kreisen nach aussen von dem Mittelpunkte, dagegen die hinter der Pupille gelegenen Objecte sich nach innen von dem Mittelpunkte abbilden.

Auch diese Erscheinungen kann man am Ophthalmotrop nachmachen, wenn man die passenden Objecte in das künstliche Auge bringt und dasselbe nahe vor eine helle Lampenkuppel stellt, oder gegen den hellen Himmel richtet, während man vor die Cornea desselben ein Kartenblatt mit zwei entsprechenden Löchelchen hält.

11. Einfluss der Trübungen und Verdunkelungen der Hornhaut und der Linse auf das Sehen.

a) Undurchsichtige Flecken der Hornhaut.

Dunkle circumscripte Flecken der Hornhaut oder der Linse, die kleiner sind, als die Pupille, beeinträchtigen die Schärfe des Retinalbildes nicht wesentlich, sondern nehmen ihm nur einen der Grösse des Fleeks proportionalen Theil seiner Helligkeit und können daher nicht als ein durchgreifendes Hinderniss des Sehens betrachtet werden. Beim gewöhnlichen Sehen, mit freiem Auge näm-

ich, wobei von einem jeden leuchtenden Punkte ein Lichtkegel in der oben angegebenen Art auf das Auge fällt, sieht der Kranke Flecken, die kleiner sind als die Pupille, nicht, indem von einem jeden Lichtkegel noch Lichtstrahlen neben der Verdunkelung durch die Pupille treten, welche hinreichen, um ein vollständiges und bei richtiger Accommodation noch scharfes Bild auf die Retina zu werfen. Das Bild der Retina ist also nur verhältnissmässig dunkeler, indem eine, je nach der Ausdehnung der Verdunkelung der Cornea oder Linse sich richtende Anzahl von Lichtstrahlen eines jeden Lichtkegels an ihrem Durchtritt zur Retina verhindert wird, eine solche Verdunkelung kann aber keinen Schatten auf die Retina werfen, das heisst, einen Theil des Objects unsichtbar machen.

Eine dunkele Macula in der Mitte der Cornea, oder der Linse von grösserem Durchmesser, als der einer Pupille von mittlerer Weite verursacht daher Blindheit des Auges bei hellem Lichte, da sie alle Lichtstrahlen an ihrem Durchtritte zur Retina verhindert; in der Dämmerung aber, oder nach Anwendung eines Mydriaticum kann der Kranke, wenn die Pupille sich hinreichend erweitert, neben dem Fleck hinwegsehen.

Man sieht daraus, dass sich in einem solchen Falle nicht blos ein Punkt, der in der Richtung der optischen Axe liegt, sondern auch jeder andere neben derselben befindliche auf der Retina abbildet.

Der Einfluss solcher Verdunkelungen auf das Sehen wird auf eine sehr schöne Weise durch das Ophthalmotrop versinnlicht: Klebt man auf die Cornea eines künstlichen Auges ein rundes Stück Papier von einem etwas geringeren Durchmesser, als der der Pupille ist, so werden trotzdem alle Objecte, auf welche das Auge gerich-

tet wird, deutlich und scharf auf dem Glase, welches die Retina vorstellt, erscheinen, und zwar nicht blos die, welche zur Seite, sondern auch die, welche in der Richtung der optischen Axe liegen.

Das natürliche Auge, welches mit einer Macula centralis corneae, oder lentis behaftet ist, sieht auch alle im Sehfelde liegenden Objecte, aber am deutlichsten die, welche ihr Bild auf die Macula lutea werfen, wollte aber das Auge, um einen gerade vor ihm liegenden Gegenstand deutlicher zu sehen, sich zur Seite wenden, so würde das Bild, obgleich es dadurch in seiner physikalischen Schärfe und Deutlichkeit auf der Retina weder etwas verlöre, noch gewänne (was auch durch das Ophthalmotrop gezeigt werden kann), dennoch von der Seele undeutlich wahrgenommen werden, weil das die Aufmerksamkeit in Anspruch nehmende Object sein Bild auf einen seitlichen Theil der Retina würfe, von dem der Seele immer nur ein undeutliches Bild übertragen wird. Wäre hierbei das andere Auge gesund, so müsste zugleich Doppelsehen entstehen, was die Wahrnehmung sehr stören würde. Das Doppelsehen wird aber, wie ich dies in meinem Lehrbuche der Ophthalmologie bei den Ursachen des Schielens nachgewiesen habe, so viel als möglich vermieden, weil dadurch das Sehen mehr gestört wird, als durch ein deutliches Bild in dem einen und ein undeutliches Bild in dem anderen Auge auf der Macula lutea. Es liegt hier also durchaus kein Grund zur Entstehung des Schielens vor.

Ueberdeckt eine Verdunkelung die Hornhaut von der einen, oder von der anderen Seite, oder von oben, oder von unten, so weit, dass nur ein kleiner Theil der Pupille frei bleibt, so verhält sich die Störung im Sehen

ganz ebenso, wie bei centralen Hornhautflecken, welche die Pupille nicht ganz decken. Eine solche Verdunkelung kann auch keinen Punkt eines Objectes, welches innerhalb des Gesichtskreises des Auges liegt, unsichtbar machen, weil von einem jeden Punkte desselben wenigstens einige Lichtstrahlen in das Auge dringen, die sich auf der Retina zu einem Bilde vereinigen. Liegt das Object in der Richtung der optischen Axe, so wird sich das Bild in der Richtung derselben auf der Macula lutea entwerfen.

Dies optische Verhältniss bleibt bei excentrischer Verdunkelung auch bis zu einem gewissen Grade dasselbe, wenn sich die optische Axe von dem Objecte abwendet, oder das Object zur Seite liegt; nur versteht es sich von selbst, dass dann das Bild wegen seiner excentrischen Lage auf der Retina schwächer empfunden wird, und zwar um so schwächer, je weiter es zur Seite liegt; ausserdem dringen bei seitlicher Lage des Objects auch weniger Lichtstrahlen in's Auge, weil um so mehr Lichtstrahlen reflectirt werden, je schräger sie die Cornea treffen. Rückt aber das Auge, oder das Object, bis über einen gewissen Punkt zur Seite, so wird das Object immer dunkeler und zuletzt gar nicht mehr gesehen. Da aber ein Auge, so lange es nur immer kann, stets dahin strebt, so deutlich als möglich zu sehen, und da es auch bei den genannten Flecken am deutlichsten sieht, wenn es seine Sehaxe auf das Object richtet, so kann in einer solchen Verdunkelung allein die Ursache eines etwa vorhandenen Schielens nicht gesucht werden.

Ein mit Hornhautflecken begabter Kranker sucht aber stets die Objecte möglichst nahe zu bringen und wird deswegen leicht kurzsichtig, weil hellere Objecte deut-

licher erscheinen und weil näher liegende Objecte unter übrigens gleichen Umständen mehr Licht in's Auge schicken, als entferntere.

Die hier genannten optischen Verhältnisse kann man leicht dadurch nachweisen, dass man auf die Cornea des Ophthalmotrops ein Stückchen dunkelen Papiers so aufklebt, dass nur ein kleiner Theil der Pupille frei bleibt, und dann das künstliche Auge bald direct, bald indirect auf ein davorstehendes Licht richtet.

Befindet sich auf der Hornhaut eine excentrische Verdunkelung, welche so gross ist, dass sie etwas über den entgegengesetzten Pupillarrand emporsteigt, so sieht der Kranke ein Object, welches in der Richtung der optischen Axe, oder ausserhalb derselben nach der Seite der Verdunkelung liegt, gar nicht. Rückt das Object aber nach der entgegengesetzten Seite, oder wendet sich die optische Axe nach der Seite der Verdunkelung der Cornea hin von dem Objecte ab, so kann ein schwach excentrisches Retinalbild entstehen.

Ein Experiment mit dem Ophthalmotrop dient auch hier zur Erläuterung: man klebe auf die Cornea des künstlichen Auges von der einen Seite ein so grosses Stück Papier, dass es ein wenig über den entgegengesetzten Rand der Pupille hinwegragt; hält man jetzt ein Licht in der Richtung der optischen Axe vor das so zugerichtete Auge, so wird man kein Lichtbild auf dem die Retina vorstellenden Glase wahrnehmen, wendet man dann aber die optische Axe des künstlichen Auges nach der Seite der Verdunkelung hin ab, so wird man ein schwaches excentrisches Bild wahrnehmen.

Leidet ein natürliches Auge an einer derartigen Verdunkelung, so kann sich, wenn das andere Auge an einem

gleichen Fehler leidet, oder vollkommen erblindet ist, Schielen mit Richtung der optischen Axe nach der Seite hin ausbilden, an welcher die Verdunkelung liegt. Ist aber das andere Auge gesund, so hört blos die accommodative Bewegung der Sehaxen auf, und es nehmen die letzteren nur eine parallele Richtung an, die auch dann noch inne gehalten wird, wenn das gesunde Auge fixirt. Natürlich gilt das nur von solchen Fällen, bei denen andere Gründe zum Schielen fehlen.

b) Transparente Flecken der Hornhaut.

Einen anderen Einfluss, als die undurchsichtigen Flecken der Hornhaut haben die durchscheinenden transparenten Trübungen: diese werfen einen Theil des Lichtes zurück und zerstreuen den durchgelassenen Theil auf der Retina, wodurch die Deutlichkeit des von den regelmässig gebrochenen Strahlen gebildeten Retinalbildes gestört wird, wenn nicht durch die verhältnissmässig viel grössere Menge des regelmässig gebrochenen Lichtes der Nachtheil des zerstreuten Lichtes compensirt wird.

Das zerstreute Licht bedeckt, wenn es stark ist, das Bild der regelmässig gebrochenen Strahlen mit einem Nebel, vorzüglich, wenn letzteres schwach ist, so dass die Farbe, die Klarheit und die Conturen eines jeden Objectes undeutlich werden.

Ist das hier Vorgetragene auch schon aus optischen Gründen klar genug, so ist es doch nicht ohne Interesse, das Phänomen auch am Ophthalmotrop zu beobachten; man klebe daher ein Stückchen Goldschlägerhäutchen, oder transparenten Papieres auf die Cornea und lasse nur einen Theil der Pupille frei, so wird man sehen, wie alle

auf dem Retinalglase sich abbildenden Objecte mit einem Nebel überkleidet sind.

Transparente centrale Flecken der Cornea und Linse stören die Wahrnehmung der Objecte stärker, als excentrische, weil jene ihr Licht, welches, weil es nicht zu ein m Retinalbilde vereinigt wird, nebelförmig erscheint, hauptsächlich auf die Mitte der Retina werfen, während die excentrischen die grösste Menge ihres Lichtes auf eine entsprechende Stelle der Peripherie der Retina senden, obgleich auch ein kleiner Theil auf das Centrum fällt; denn jeder Theil der Trübung ist gewissermassen als eine Lichtquelle zu betrachten, die ihre Strahlen von jeder Richtung, in welcher Licht auf die Cornea geworfen wird, schöpft und auch nach allen Richtungen hin zerstreut. Der Zerstreuungskreis, der von den pelluciden Hornhauttrübungen geworfen wird, ist daher um so intensiver, je grösser der Fleck und je heller das auffallende Licht ist. Bei matter Beleuchtung und in der Dämmerung sehen daher die Kranken grelle Objecte mit einem braunen Nebel, dagegen dunkele Objecte im hellen Sonnenschein mit einem weissen Nebel bedeckt (Stellwag). Auch diese Phänomene sind mit dem Ophthalmotrop nachzuexperimentiren.

Natürlich nimmt die Störung bei bedeutender Verdickung des Fleckes ab.

Erweiterung der Pupille befördert die Deutlichkeit des Sehens, weil dann mehr regelmässig gebrochene Lichtstrahlen durchgehen, ungeachtet die zerstreuende Wirkung der transparenten Flecken dabei dieselbe bleibt.

Auch die Accommodation hat Einfluss; der Kranke sieht nämlich am besten, wenn das Auge für die Entfernung des Objectes genau accommodirt ist, weil dann, we-

gen der Schärfe des regelmässigen Retinalbildes, die zerstreuten Lichtstrahlen nicht so stark empfunden werden.

Nahe liegende Objecte werden bei Hornhauttrübungen unter übrigens gleichen Umständen besser gesehen, als ferne, theils weil sie mehr Licht in's Auge schicken, wodurch das Bild heller wird und einen grösseren Contrast mit den zerstreuten Lichtstrahlen bildet, theils weil bei nahe liegenden Objecten und richtiger Accommodation die Lichtstrahlen, welche von den Trübungen der Hornhaut zerstreut werden, mehr auf die Peripherie der Retina fallen, und endlich, weil das Auge sich leichter und schärfer für Objecte in einer gewissen Nähe accommodirt, als für ferne Objecte. Gerade diese schärfere Accommodation für nähere Objecte und die dadurch bewirkte schärfere Zeichnung des Retinalbildes ist es hauptsächlich, wodurch das Sehen in der Nähe verbessert wird; denn die grössere Lichtintensität der näheren Objecte wird durch die Verengerung der Pupille beim Nahesehen compensirt. Nicht ausser Acht zu lassen ist auch, dass durch die Verengerung der Pupille die Zerstreuungskreise der transparenten Flecken mehr oder weniger abgeschnitten werden, weshalb Kranke mit transparenten Hornhautflecken auch oft besser sehen durch kleine Löchelchen, z. B. eines Kartenblattes.

Augen mit transparenten Hornhautflecken werden daher auch leicht kurzsichtig, weil der Kranke stets die Objecte so nahe als möglich zu bringen und seine Augen für die Nähe einzurichten sucht.

12. Stenopäische Brillen.

Um den nachtheiligen Einfluss transparenter Hornhautflecken zu vermindern, hat Donders neuerlichst die

von ihm sogenannten stenopäischen Brillen empfohlen. Sie bestehen aus zwei hohlen Schalen, auf deren Mitte eine Metallscheibe mit einem Löchelchen sich befindet; beide Schalen sind durch ein elastisches Band, welches über die Nase kommt, und durch ein zweites Band, welches über den Kopf kommt, vereinigt (vgl. die Abbildung in meinem Lehrb. Bd. 2, Seite 265). Bewaffnet der Kranke seine Augen mit dieser Brille, so sieht er alle Objecte deutlicher und schärfer und ist oft selbst im Stande kleine Schrift zu lesen, wovon ich mich durch zahlreiche Experimente überzeugt habe.

Die Art und Weise, wie diese Brillen das Sehvermögen bei transparenten Hornhautflecken verbessern, ist leicht einzusehen; zuerst, und das ist die Hauptsache, fangen sie das bei freiem Auge durch die transparenten Flecken dringende und im Auge zerstreute Licht ab; zweitens bewirken sie, indem sie das überflüssige und störende Licht abhalten, eine Erweiterung der Pupille, so dass durch den freien Theil der Cornea, der der Oeffnung der Brille gegenüber gestellt wird, Licht in das Auge gelangen kann.

Dass eine Erweiterung der Pupille, ohne Beseitigung der zerstreuten Lichtstrahlen durch einen vorgehaltenen Schirm mit einem Löchelchen, nicht ausreichend ist, sieht man bei der künstlichen Erweiterung der Pupille durch Atropin bei transparenten Hornhautflecken.

Die Richtigkeit dieser Erklärung kann man leicht am künstlichen Auge beweisen, wenn man vor die mit einem Stückchen transparenten Papiers beklebte Hornhaut desselben eine stenopäische Brille hält. Die Bilder der Objecte erscheinen dann auf dem Retinalglase auf der Stelle schärfer und deshalb deutlicher, ungeachtet sie im Allgemeinen dun-

keler sind, als ohne die Brille. Eine solche Brille kann daher dem Kranken auch nur dann etwas nützen, wenn die Objecte gut beleuchtet sind.

13. Diaphragmen.

Bekanntlich vereinigen sich diejenigen Lichtstrahlen, welche durch den Rand einer dioptrischen convexen Linse treten, früher als die centralen Strahlen, welche mehr durch den mittleren Theil der Linse fallen. Die centralen Strahlen sind nun diejenigen, welche sich im Hauptbrennpunkte der Linse vereinigen und das deutlichste und schärfste Bild geben, während die Randstrahlen sogenannte Zerstreuungskreise bilden, welche die Wahrnehmung des Hauptbildes stören. Die Erscheinung wird die sphärische Aberration genannt; dieselbe ist um so stärker, je näher das leuchtende Object dem dioptrischen Medium liegt. Um die sphärische Aberration möglichst zu verhüten, bedient man sich in optischen Instrumenten der künstlichen Diaphragmen, deren Stelle im natürlichen Auge die Regenbogenhaut mit ihrer Pupille vertritt. Die Iris deckt den Rand der Linse und gestattet auf diese Weise bloss den auf die Mitte der Linse fallenden Strahlen den Durchgang. Obgleich nun die Iris mit ihrer Pupille bei der Accommodation des Auges für nahe und ferne Objecte im menschlichen Auge nur eine untergeordnete Rolle spielt (Lehrb. d. Ophthalmol. Aufl. 2, Bd. I, pag 207), so ist ihr Einfluss dabei unter anderem auch durch die Verhütung der sphärischen Aberration, die im menschlichen Auge freilich nicht bedeutend ist, doch von Wichtigkeit. Daher nehmen wir denn auch wahr, dass die Pupille beim Nahesehen ihren Durchmesser verkleinert und beim Sehen in die Ferne vergrössert.

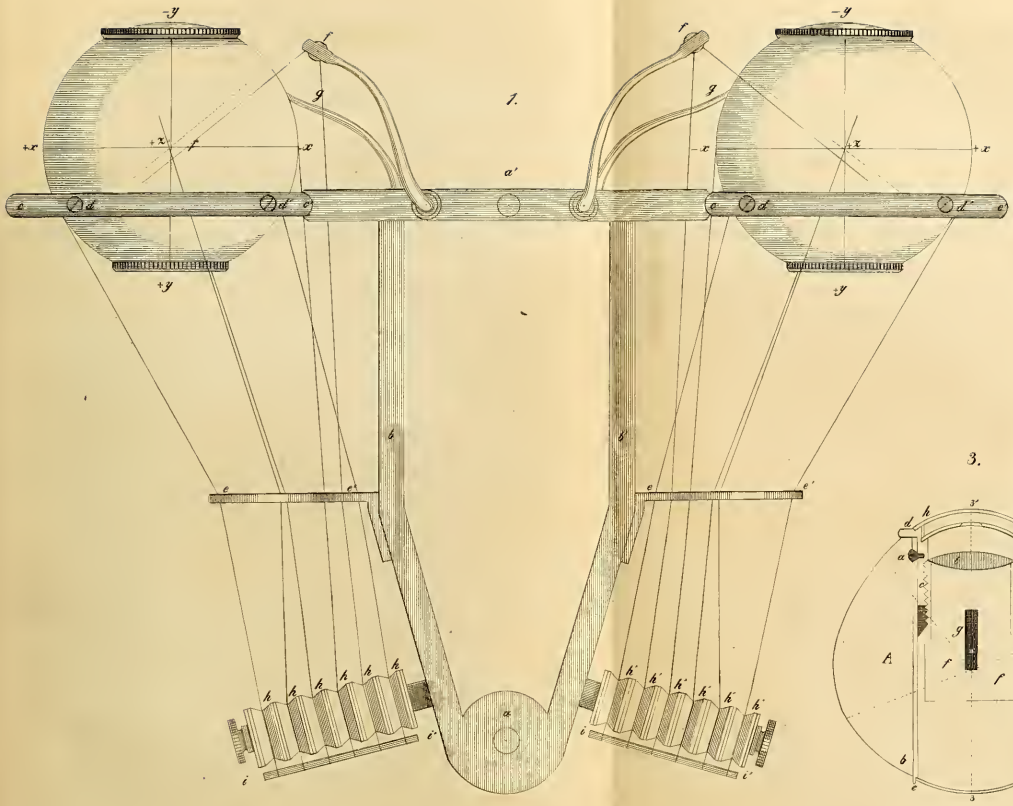
Der Einfluss der Diaphragmen auf die Deutlichkeit und Schärfe des Bildes hinter dioptrischen Medien kann aufs schönste am Ophthalmotrop nachgewiesen werden. Man stelle in einer mässigen Entfernung ein Licht vor demselben auf und accommodire die künstlichen Augen für eine grössere Entfernung, so wird das Licht in Form eines Zerstreuungskreises in denselben erscheinen. Ietzt halte man aber ein Kartenblatt mit einem Löchelchen von der Grösse eines Stecknadelknopfes vor die Augen des Ophthalmotrops, so wird das Licht auf der Stelle schärfer und klarer sich darstellen.

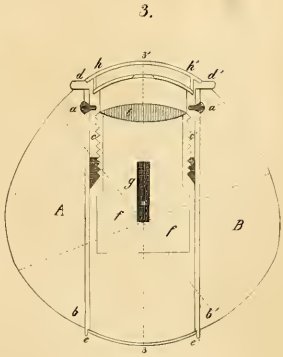
Beer sagt in seinem Werke über die Augenkrankheiten: „Wenn das Auge durch eine partielle Verwachsung der Regenbogenhaut mit der Hornhaut, folglich durch Verengerung und Verstellung der Pupille gezwungen wird, von der Sehaxe zu decliniren, um nur einigermassen sehen zu können, so entsteht eine Art von Schielen.“ „Aber unmöglich kann,“ sagt J. Müller (Vergleichende Physiologie des Gesichtssinnes §. 223), „das Schielen aus der Ursache eintreten, welche Beer angegeben hat; denn wenn das kranke Auge von der Sehaxe declinirte, um besser sehen zu können, so müsste nothwendig Doppelsehen entstehen. Die künstliche, seitliche Pupille wird aber nur dann dem Gegenstande e diametro zugewandt werden, wenn das operirte Auge allein fixiren soll.“

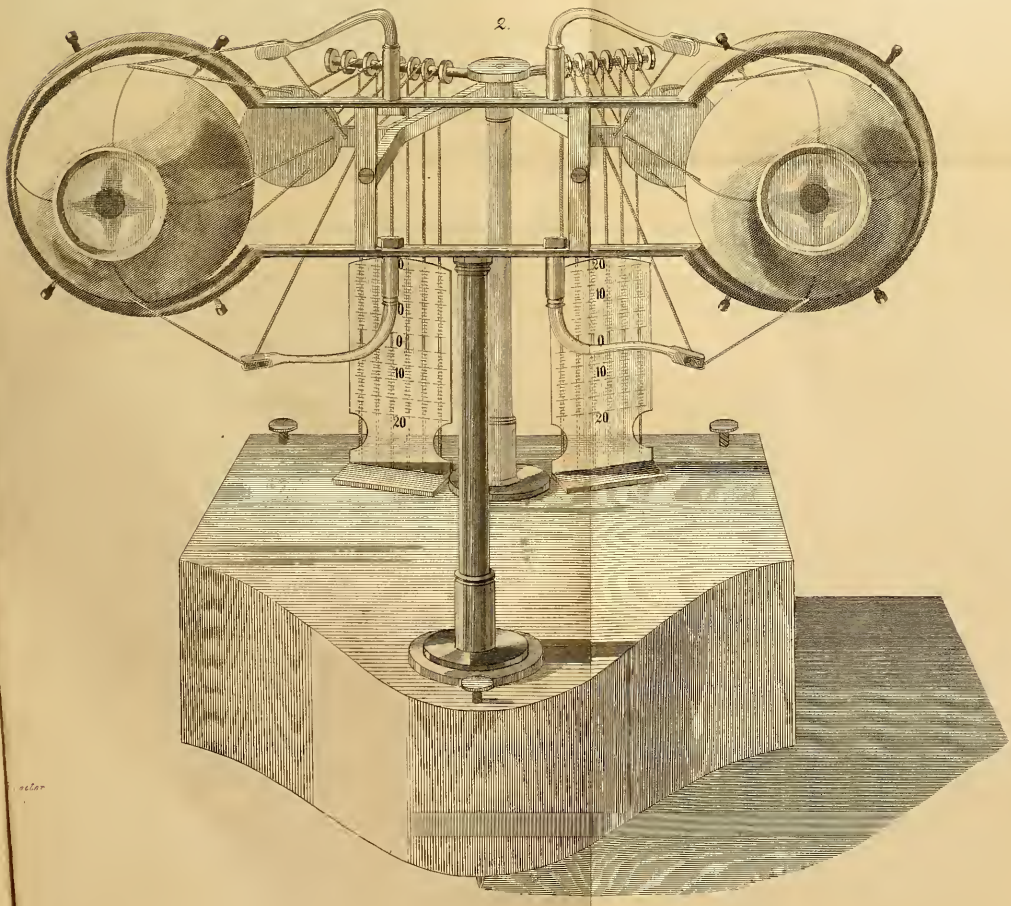
Die Einwendung J. Müller's gegen die Ansicht Beer's von der Entstehung des Schielens durch seitliche Pupillen ist zwar im Allgemeinen vollkommen begründet, aber dennoch ist die Behauptung Müller's unrichtig, dass eine künstliche, seitliche Pupille dann dem Gegenstande e diametro zugewandt werde, wenn das operirte Auge allein fixiren solle. Denn das Auge sieht den Gegenstand

am besten, wenn das Bild desselben auf seine macula lutea fällt Da aber das Bild auf einen seitlichen Theil der Retina fallen würde, wenn die seitliche Pupille dem Gegenstande e diametro zugewandt wäre, so wird dies um so weniger geschehen, als ungeachtet der seitlichen Pupille doch das Bild des Gegenstandes auf die macula lutea fallen wird, wenn die optische Axe des operirten Auges auf den Gegenstand gerichtet bleibt.

Will man diesen Satz, der freilich schon aus optischen Gesetzen klar genug ist, auch durch ein Experiment am Ophthalmotrop beweisen, so nehme man die mit einer centralen Pupille versehene Regenbogenhaut heraus und setze anstatt dieser ein Diaphragma mit einer excentrischen regelmässig oder unregelmässig geformten Pupille hinein und richte dann die optische Axe des künstlichen Auges auf ein Licht, so wird man sich überzeugen, dass das Bild desselben auf den optischen Mittelpunkt des Retinalglases fällt. Freilich ist ein durch eine seitliche Pupille fallendes Bild physikalisch bei weitem nicht so scharf und hell, als ein Bild, welches unter übrigens gleichen Umständen durch eine centrale Pupille auf die Retina geworfen wird, weil einestheils eine grössere Anzahl von Lichtstrahlen wegen ihrer schieferen Richtung, worin sie den Rand der Cornea treffen, gespiegelt wird, so dass weniger Lichtstrahlen durch den Rand als durch die Mitte der Cornea treten und weil anderentheils die wirklich in das Auge tretenden Lichtstrahlen durch den Rand der Linse fallen, wo die sphärische Aberration grösser ist.


1.
-y
+y
-x
+x
f
g
a'
b
b'
e
e'
d
d'
h
h'
i
i'
c'


3.
y
d
h
k'
d'
a
A
B
f
g
b
b'
e


2.
0
10
20

Verlag von B. G. TEUBNER in Leipzig.

BILDLICHE DARSTELLUNG
DER
KRANKHEITEN
DES MENSCHLICHEN AUGES.

VON

Dr. C. G. THEODOR RUETE,

RITTER DES K. S. VERDIENSTORDENS, K. S. HOFRATH, ORDENTL. PROFESSOR DER AUGENHEILKUNDE, DIRECTOR DER HEILANSTALT FÜR AUGENKRANKE, DES POLIKLINIKUMS DER UNIVERSITÄT FÜR INNERE KRANKE UND MITGLIED MEHRERER GELEHRTEN GESELLSCHAFTEN.

Mit colorirten Kupfertafeln und zahlreichen in den Text gedruckten Holzschnitten.

I. bis 6. Lieferung. Folio. Cartonnirt jede Lieferung 6 Thlr.

Dem unterzeichneten Verleger gereicht es zur besondern Freude, über den ungestörten Fortgang eines Unternehmens berichten zu können, welches bis jetzt weder in der deutschen noch ausländischen Literatur seines Gleichen hat, indem alle Urtheile competenter Sachverständiger darin übereinstimmen, dass die künstlerische Ausführung dieses ophthalmologischen Atlas alles übertrifft, was auf diesem Gebiete seither in England, Frankreich oder Deutschland geleistet wurde. In anderer Beziehung bürgt der Name des Herausgebers für wissenschaftliche Gedie-

genheit und praktische Brauchbarkeit des Werkes, dessen Text sowohl eine ausführliche Beschreibung der bildlich dargestellten Krankheiten und ihrer Behandlung gibt, als alle in der Praxis vorkommenden Instrumente, ihre Construction und Anwendung durch Wort und Bild erläutert, so dass dem Käufer zugleich ein praktisches Lehrbuch der Augenheilkunde geliefert wird, welches in Verbindung mit dem Atlas dem Studirenden sowohl als dem praktischen Augenarzte in allen erdenklichen Fällen Rath und Auskunft geben kann.

Herausgeber und Verleger betrachten die baldige Vollendung des Unternehmens in ungeschmälerter Vollkommenheit als eine Aufgabe, deren glückliche Lösung trotz der erheblichen damit verbundenen Opfer durch die anerkennende Theilnahme des Publikums für sie zur Ehrensache geworden ist.

Da die kostspielige Herstellung des Colorits die im Buchhandel übliche Versendung zur Ansicht nur bei der ersten in grösserer Anzahl gefertigten Doppel-Lieferung gestattet, so möge hier ein Verzeichniss des Inhalts der bis jetzt erschienenen 6 Lieferungen zur Kenntnissnahme von der grossen Reichhaltigkeit des Dargebotenen folgen.

Inhalt.

Erste und **zweite** (Doppel-)**Lieferung**, mit einer schwarzen und sieben colorirten Kupfertafeln. Auch unter dem besondern Titel:

Physikalische Untersuchung des Auges.

1. Die Bewegung der Augenlieder und das Bindehautsecret.
2. Die Bewegung der Augen und die Stellung der Sehaxen. (Mit 1 Holzschnitt.)

3. Untersuchung des Accommodations- und Refractionsvermögens des Auges. (Mit 1 Holzschnitt.)
4. Untersuchung des Sehvermögens mit zwei verschiedenen Gläsern.
5. Untersuchung des mangelhaften und fehlerhaften Farbensinnes.
6. Untersuchung der Sehkraft in Beziehung auf Erkennung und Beurtheilung der Grösse und der Entfernung der Objecte.
7. Untersuchung des Tastsinnes und des Gemeingefühles des Auges und seiner Umgebung.
8. Die Palpation des Auges. (Mit 1 Holzschnitt.)
9. Eröffnung der Augenlieder. (Mit 1 Holzschnitt.)
10. Die Untersuchung des Verlaufes der Gefässe.
11. Untersuchung der Regenbogenhaut.
12. Zweckmässige Beleuchtung der Augen.
13. Beobachtung mit der Lupe. (Mit 1 Holzschnitt.)
14. Untersuchung mit dem Augenspiegel. (Mit 12 Holzschnitten und 5 schwarzen und 46 fein ausgemalten Figuren auf 8 Kupfertafeln.)

Dritte Lieferung, mit 5 colorirten Kupfertafeln.

Krankheiten der Augenlieder. (Mit 17 Holzschnitten und 15 fein ausgemalten Figuren auf 2 Kupfertafeln.)

Krankheiten der Thränenleitungsorgane. (Mit 1 Holzschnitt und 4 ausgemalten Figuren.)

Krankheiten der Conjunctiva. (Mit 31 fein ausgemalten Figuren.)

1. Entzündung der Bindehaut selbst.
2. Entzündung der Bindehaut und des Annulus subconjunctivalis oder der vorderen Ciliargefässe.
3. Entzündung des subconjunctivalen Zellgewebes der Augenlieder und der Peripherie des Bulbus.

Supplement-Tafel I. (Mit 6 ausgemalten Figuren.)

Synchysis des Glaskörpers — Cataracta congenita pyramidalis stellata — Chorioideitis chronica — Chorioideitis in Folge einer mechanischen Verletzung — Albinismus.

Vierte Lieferung, mit 4 colorirten Kupfertafeln.

Croupöse Entzündung der Conjunctiva. (Mit 1 ausgemalten Figur.)

Ausgänge der Conjunctivitis. (Mit 5 Holzschnitten und 20 ausgemalten Figuren.)

Krankheiten der Cornea.

I. Keratitis nervosa. (Mit 3 ausgemalten Figuren.)

II. Keratitis vasculosa. (Mit 3 ausgemalten Figuren.)

III. Keratitis parenchymatosa. (Mit 4 ausgemalten Figuren.)

Fernere Ausgänge der Keratitis. (Mit 5 ausgemalten Figuren.)

Fünfte und **sechste** (Doppel-)**Lieferung**, mit 8 colorirten Tafeln.

Ausgänge der Keratitis. (Mit 27 ausgemalten Figuren.)

Iritis, Kyklitis und Chorioideitis mit ihren Ausgängen. (Mit 45 ausgemalten Figuren.)

Die **siebente** und **achte** (Doppel-)**Lieferung** erscheint zu Ostern 1858 und wird in 72 Figuren auf 8 mit grösster Sorgfalt ausgemalten Kupfertafeln den grauen Staar in allen Varietäten darstellen. Der Schluss des Werkes wird dann so schnell erfolgen, als es die auf die Ausführung zu verwendende Sorgfalt nur irgend zulässt.

Leipzig, im November 1857.

B. G. Teubner.

Druck von B. G. Teubner in Leipzig.

In meinem Verlage ist erschienen und in allen Buchhandlungen zu haben:

Die

in und an dem Körper des lebenden Menschen

vorkommenden

PARASITEN.

Ein Lehr- und Handbuch

der

Diagnose und Behandlung der thierischen und pflanzlichen Parasiten des Menschen.

Zum Gebrauche

für Studirende der Medicin und der Naturwissenschaften, für Lehrer der Zoologie, Botanik, Physiologie, pathologischen Anatomie und für praktische Aerzte.

Zusammengestellt von

Dr. Friedrich Küchenmeister,

prakt. Arzte in Zittau und Mitglied verschiedener gelehrter Gesellschaften.

Erste Abtheilung: *Die thierischen Parasiten.* 2 Lieferungen, mit 9 Kupfertafeln. gr. 8. geh. Preis jeder Lieferung 2¼ Thlr.

Zweite Abtheilung: *Die pflanzlichen Parasiten.* Mit 5 Kupfertafeln. gr. 8. geh. Preis 1½ Thlr.

Leipzig.

B. G. Teubner.